

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



**DKD**

---

**Richtlinie  
DKD-R 6-1**

**Kalibrierung von  
Druckmessgeräten**

---

Ausgabe 09/2018

[https:// doi.org/10.7795/550.20180828A1](https://doi.org/10.7795/550.20180828A1)



	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	2/44

### 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](http://www.dkd.eu)

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828A1">https://doi.org/10.7795/550.20180828A1</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	3/44

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Richtlinie DKD-R 6-1 Kalibrieren von Druckmessgeräten, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.*

*DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20180828A1>*

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:

Mitglieder des Fachausschusses *Druck und Vakuum* des DKD in der Zeit von 2002 bis 2009.

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

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	4/44

## 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 *Druck und Vakuum* in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien bereits 2002 erstellt.

Die vorliegende geänderte Neuauflage enthält lediglich ein aktualisiertes Impressum.

Sie ist inhaltsgleich mit der DAkkS-DKD-R 6-1 (Ausgabe 2010). Die DAkkS wird die DAkkS-DKD-R 6-1 spätestens zum 01.01.2021 zurückziehen.

Ausgabe: 03/2002, veröffentlicht vom DKD

1. Neuauflage: 2010, durch die DAkkS
2. Neuauflage: 2018, durch den DKD, inhaltsgleich mit der 1. Neuauflage

Diese Richtlinie ist auf dem Stand von 2010. Die derzeit aktuelle Fassung ist DKD-R 6-1, Ausgabe 03/2014.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Zweck und Geltungsbereich .....	6
2	Symbole und Benennungen .....	6
2.1	Variable .....	6
2.2	Indizes .....	7
3	Bezugs- und Gebrauchsnormale .....	8
4	Kalibriergegenstand .....	8
5	Kalibrierfähigkeit .....	10
6	Umgebungsbedingungen .....	10
7	Kalibrierverfahren .....	11
8	Messunsicherheit .....	14
8.1	Definition .....	14
8.2	Vorgehensweise .....	14
8.2.1	Modell der Auswertung .....	14
8.2.2	Summe-/Differenzmodell .....	15
8.2.3	Produkt-/Quotientmodell .....	15
8.2.4	Eingangsrößen .....	16
8.2.5	Mögliche Einflussgrößen, Beispiel .....	17
8.3	Kalibrierung von Federmanometern .....	18
8.3.1	Modell der Auswertung .....	18
8.3.2	Unsicherheitsanalyse .....	19
8.3.3	Belastungsstufenbezogenes Messunsicherheitsbudget .....	20

8.3.4	Einwertangabe .....	21
8.4	Kalibrierung von elektrischen Druckmessgeräten .....	21
8.5	Kalibrierung von Druckaufnehmern und Druckmessumformern mit elektrischem Ausgang .....	21
8.5.1	Modell der Auswertung .....	21
8.5.2	Unsicherheitsanalyse .....	23
8.5.3	Belastungsstufenbezogenes Messunsicherheitsbudget.....	24
8.5.4	Einwertangabe .....	24
8.6	Ermittlung der relevanten Kenngrößen für die Unsicherheitsanalyse .....	25
8.6.1	Auflösung $r$ .....	25
8.6.1.1	Analoge Anzeigeeinrichtungen .....	25
8.6.1.2	Digitale Anzeigeeinrichtungen .....	25
8.6.1.3	Anzeigeschwankung.....	25
8.6.2	Nullpunktabweichung $f_0$ .....	25
8.6.3	Wiederholpräzision $b'$ .....	26
8.6.4	Vergleichpräzision $b$ .....	26
8.6.5	Umkehrspanne $h$ .....	27
9	Auswertung der Messergebnisse und Angaben im Kalibrierschein.....	27
9.1	Ermittlung weiterer Kenngrößen .....	28
9.1.1	Mittelwerte $\bar{x}$ .....	28
9.1.2	Abweichungsspanne $U'$ .....	28
9.1.3	Konformität.....	28
9.2	Visualisierung des Kalibrierergebnisses .....	29
9.2.1	Federmanometer, elektrisches Druckmessgerät:.....	29
9.2.2	Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang .....	30
9.3	Grenzwerte für Messunsicherheitsangaben.....	30
10	Ergänzende Regeln und Normen .....	31
Anhang A	Abschätzung der Messunsicherheit, die den Werten des Kolbenmanometers unter Anwendungsbedingungen beizuordnen ist .....	32
Anhang B	Beispiel Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines Federmanometers .....	34
Anhang C	Beispiel Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines digitalen elektrischen Druckmessgerätes.....	36
Anhang D	Beispiel Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines Druckmessumformers mit elektrischem Ausgang .....	38
Anhang E	(informativ) Messunsicherheiten von Bezugs- und Gebrauchsnormen.....	42
Anhang F	Gültigkeitsdauer (Empfehlung) .....	43
	Literaturhinweise .....	44

## 1 Zweck und Geltungsbereich

Diese Richtlinie dient dazu, Mindestanforderungen an das Kalibrierverfahren und an die Messunsicherheitsabschätzung bei der Kalibrierung von Druckmessgeräten festzulegen. Sie gilt für Federmanometer, elektrische Druckmessgeräte und Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang für Absolutdruck, Differenzdruck und Überdruck mit negativen und positiven Werten.

## 2 Symbole und Benennungen

Die Symbole werden themenbezogen, d.h. in der Regel in der Reihenfolge ihres Auftretens im Text, aufgeführt.

### 2.1 Variable

M1 ... M6	Messreihe
EW	(Kalibrierbereichs-) Endwert
$Y$	Ergebnisgröße
$X$	Wertbestimmende Eingangsgröße
$\delta X$	Unbekannte Messabweichung
$K$	Korrektionsfaktor
$x$	Schätzwert der Eingangsgröße
$y$	Schätzwert der Ergebnisgröße
$c$	Sensitivitätskoeffizient
$k$	Erweiterungsfaktor
$a$	Halbbreite einer Verteilung
$P$	Wahrscheinlichkeit
$E[...]$	Erwartungswert
$u$	Standardmessunsicherheit
$U$	Erweiterte Messunsicherheit
$w$	Relative Standardmessunsicherheit
$W$	Relative erweiterte Messunsicherheit
$p$	Druck
$\Delta p$	systematische Messabweichung der Größe Druck
$\delta p$	Unbekannte Messabweichung der Größe Druck
$S$	Übertragungskoeffizient (des Druckaufnehmers)
$\Delta S$	systematische Abweichung des Übertragungskoeffizienten von der Einwertangabe
$V$	Spannung
$G$	Verstärkungsfaktor

$r$	Auflösung
$f_0$	Nullpunktabweichung
$b'$	Wiederholpräzision
$b$	Vergleichpräzision
$h$	Umkehrspanne
$U'$	Abweichungsspanne
$W'$	Relative Abweichungsspanne
$S'$	Steigung einer linearen Ausgleichsfunktion
$p_e$	Überdruck
$m$	Masse der Belastungskörper
$g$	Fallbeschleunigung
$\rho$	Dichte
$A$	Wirksamer Querschnitt des Kolben-Zylinder-Systems
$\lambda$	Deformationskoeffizient des Kolben-Zylinder-Systems
$\alpha$	Therm. Längenausdehnungskoeffizient des Kolbens
$\beta$	Therm. Längenausdehnungskoeffizient des Zylinders
$t$	Temperatur des Kolben-Zylinder-Systems
$h$	Höhendifferenz der Bezugsebenen

## 2.2 Indizes

$Sp$	Speise-/Versorgungsspannung
$j$	Nummer des Messpunktes
$m$	Nummer der Messreihe
$n$	Anzahl der Messzyklen
$a$	Luft
$Fl$	Medium
$m$	Belastungskörper/ -masse
$0$	Referenzbedingungen $t = 20\text{ °C}$
$Ref$	Referenzbedingungen
$Anw$	Anwendungsbedingungen
$korr$	Korrektur (des Messwertes)

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	8/44

### 3 Bezugs- und Gebrauchsnormale

Die Kalibrierung erfolgt durch direkten Vergleich der Messwerte des Kalibriergegenstandes mit denen des Bezugs- oder Gebrauchsnormales, das direkt oder indirekt auf ein nationales Normal rückgeführt ist.

Als Bezugsnormale werden langzeitstabile Druckmessgeräte wie z. B. Kolbenmanometer, Flüssigkeitsmanometer verwendet. Sie werden bei der PTB in regelmäßigen Abständen kalibriert und mit einem Kalibrierschein versehen, in dem die erweiterte Messunsicherheit unter Referenzbedingungen (Normfallbeschleunigung, 20 °C) ausgewiesen ist.

Bei einer Kalibrierung außerhalb der Referenzbedingungen sind Korrekturen in der Druckberechnung durchzuführen. Die diesen Korrekturen aufgrund von Einflussgrößen beizuordnenden Messunsicherheiten sind als weitere Beiträge im Messunsicherheitsbudget zu berücksichtigen.

Die in dem Qualitätsmanagementhandbuch des DKD-Laboratoriums dokumentierten Gebrauchsnormale werden in einem akkreditierten Labor kalibriert und mit einem Kalibrierschein versehen, in dem die erweiterte Messunsicherheit unter Referenzbedingungen ausgewiesen ist. Das Gebrauchsnormal unterliegt der Genehmigung der PTB. Die Gebrauchsnormale können von der Bauart her sehr unterschiedlich sein.

#### **Empfehlung:**

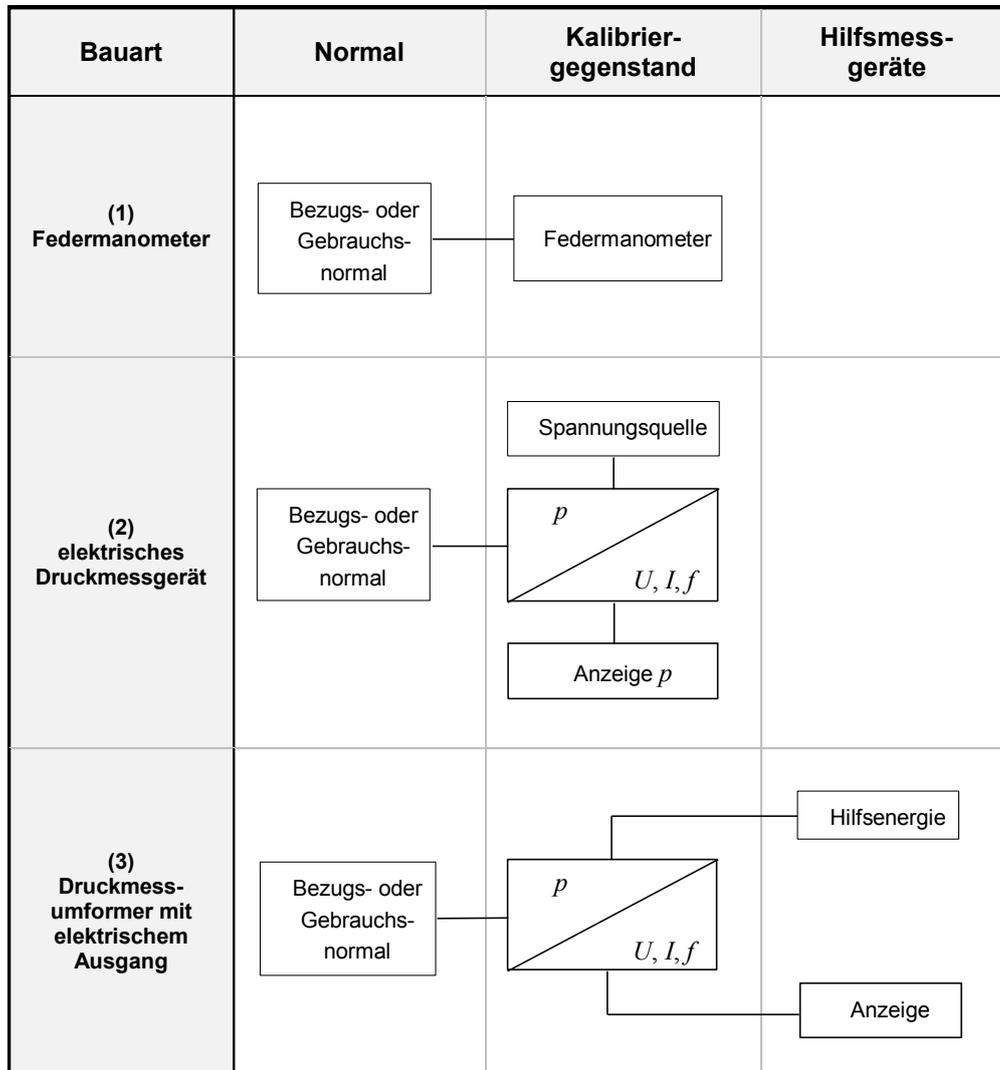
Die Messunsicherheit, die den Messwerten des Bezugs- oder Gebrauchsnormals beigeordnet ist, sollte 1/3 der angestrebten Messunsicherheit<sup>1</sup>, die den Messwerten des Kalibriergegenstandes voraussichtlich beigeordnet wird, nicht überschreiten.

### 4 Kalibriergegenstand

Kalibriergegenstände sind Druckmessgeräte der in Abbildung 1 dargestellten drei Bauarten.

---

<sup>1</sup> Die angestrebte Messunsicherheit ist diejenige Messunsicherheit, die bei festgelegtem Kalibrieraufwand (Messunsicherheit der Werte des Normals, Anzahl der Messreihen, etc.) erreichbar ist. Sie ist normalerweise größer als die kleinste angebbare Messunsicherheit.

**Abbildung 1:** Bauarten von Druckmessgeräten


Im Gegensatz zu elektrischen Druckmessgeräten (2), bei denen nur die Bereitstellung einer Hilfsenergie erforderlich ist, müssen bei der Kalibrierung von Druckmessumformern mitelektrischem Ausgang (3) Hilfsmessgeräte des akkreditierten Laboratoriums eingesetzt werden. Diese dienen der Umwandlung des elektrischen Signals in eine ablesbare Anzeige. Die Messunsicherheit, die den Messwerten der Hilfsmessgeräte beigeordnet ist, ist in der Unsicherheitsanalyse zu berücksichtigen. Um die Rückführbarkeit zu gewährleisten ist es erforderlich, dass die Hilfsmessgeräte kalibriert sind und eine Angabe über die den Messwerten beigeordnete Messunsicherheit vorliegt. Bei der Prüfmittelauswahl ist sicherzustellen, dass die Messunsicherheit, die den Messwerten der Hilfsmessgeräte beigeordnet ist, der angestrebten Messunsicherheit des Kalibriergegenstandes entsprechend angegeben werden kann.

Bei Kalibriergegenständen mit einer digitalen Schnittstelle (z. B. RS232, RS485 IEEE488 etc.) kann diese anstelle der Anzeige benutzt werden. Es ist sicherzustellen, dass die ausgelesenen Daten eindeutig interpretiert und verarbeitet werden.

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	10/44

## 5 Kalibrierfähigkeit

Die Bearbeitung eines Kalibrierauftrages setzt die Kalibrierfähigkeit (Eignung) des Kalibriergegenstandes voraus, d. h. der momentane Zustand des Kalibriergegenstandes sollte den allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie den speziellen Vorgaben gemäß Herstellerdokumentation entsprechen. Die Kalibrierfähigkeit ist durch Beschaffenheits- und Funktionsprüfungen festzustellen.

Beschaffenheitsprüfungen umfassen z. B.:

- Sichtprüfung auf Beschädigungen (Zeiger, Gewinde, Dichtfläche, Druckkanal)
- Kontamination und Sauberkeit
- Sichtprüfungen hinsichtlich Beschriftung, Lesbarkeit der Anzeigen
- Prüfung, ob die zur Kalibrierung erforderlichen Unterlagen (Technische Daten, Bedienungsanleitung) vorliegen

Funktionsprüfungen umfassen z. B.:

- Dichtheit des Leitungssystems des Kalibriergegenstandes
- Elektrische Funktionsfähigkeit
- einwandfreie Funktion der Bedienelemente (z. B. Einstellbarkeit des Nullpunktes)
- Einstellelemente in definierter Stellung
- fehlerfreier Ablauf von Selbsttest- und/oder Selbstjustierungsfunktionen; ggf. sind interne Referenzwerte über EDV-Schnittstelle auszulesen
- Drehmomentabhängigkeit (Nullsignal) bei Montage

### **Anmerkung:**

Falls zur Herstellung der Kalibrierfähigkeit Instandsetzungsmaßnahmen oder Justierungen erforderlich sind, müssen diese Arbeiten zwischen Auftraggeber und Kalibrierlaboratorium abgesprochen werden.

## 6 Umgebungsbedingungen

Die Kalibrierung ist nach Temperatenausgleich zwischen Kalibriergegenstand und Umgebung auszuführen. Eine Aufwärmzeit des Kalibriergegenstandes oder eine mögliche Erwärmung des Kalibriergegenstandes durch die Speisespannung ist zu berücksichtigen.

Die Kalibrierung ist bei einer auf  $\pm 1$  K stabilen Umgebungstemperatur vorzunehmen; diese Temperatur muss im Bereich von 18 °C bis 28 °C liegen und ist zu protokollieren.

### **Anmerkung:**

Wenn die Luftdichte einen Einfluss auf das Kalibrierergebnis hat, müssen außer der Umgebungstemperatur auch der Atmosphärendruck und die relative Luftfeuchte protokolliert werden.

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	11/44

## 7 Kalibrierverfahren

- Das Druckmessgerät ist möglichst als Gesamtheit (Messkette) zu kalibrieren.
- Die vorgeschriebene Einbaulage ist zu berücksichtigen.
- Die Kalibrierung ist an gleichmäßig über den Kalibrierbereich verteilten Messpunkten durchzuführen.
- Je nach angestrebter Messunsicherheit sind eine oder mehrere Messreihen nötig.
- Wenn der Kalibriergegenstand nicht hinreichend in seinem Verhalten bezüglich des Einflusses des Drehmomentes bei der Montage bekannt ist, muss durch eine zusätzliche Aufspannung die Vergleichpräzision ermittelt werden. Das Drehmoment ist in diesem Falle zu messen und zu dokumentieren.

Auf Antrag können weitere Einflussgrößen (z. B. Temperatureinfluss durch weitere Messreihen bei unterschiedlichen Temperaturen) ermittelt werden.

Der Messwertvergleich zwischen Kalibriergegenstand und Bezugs- oder Gebrauchsnorm ist nach zwei Methoden durchführbar:

- Einstellung des Druckes nach Anzeige des Kalibriergegenstandes
- Einstellung des Druckes nach Anzeige des Normales

Die Vorbelastungszeit sollte am Endwert und zwischen zwei Vorbelastungen mindestens 30 Sekunden betragen. Nach Vorbelastung wird die Anzeige des Kalibriergegenstandes nach Erreichen des Beharrungszustandes auf Null gestellt, wenn der Kalibriergegenstand dies erlaubt. Die Nullpunktablesung erfolgt unmittelbar danach. Für die Druckstufenänderung einer Messreihe gilt, dass die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Belastungsschritten gleich sein soll, 30 Sekunden nicht unterschritten werden dürfen und die Ablesung frühestens 30 Sekunden nach Beginn des Druckwechsels erfolgen darf. Speziell bei Federmanometern ist durch leichtes Klopfen ein eventuell auftretender Reibungseinfluss des Zeigerwerkes zu minimieren. Am Kalibrierbereichsendwert ist der Messwert vor und nach der Haltezeit zu registrieren. Die Nullpunktablesung am Ende einer Messreihe erfolgt frühestens 30 Sekunden nach der vollständigen Entlastung.

Der Kalibrieraufwand in Abhängigkeit von der angestrebten Messunsicherheit (vgl. <sup>1</sup> Seite 8) ist in Tabelle 1 und der Abbildung 2 dargestellt, die den zeitlichen Ablauf der Kalibrierung wiedergibt:

**Tabelle 1:** Kalibrierabläufe

Kalibrierablauf	angestrebte Messunsicherheit in % der Messspanne (*)	Anzahl der Messpunkte mit Null auf/ab	Anzahl der Vorbelastungen	Laständerung + Beharrungszeit (**) Sekunden	Haltezeit am Messbereichsendwert (***) Minuten	Anzahl der Messreihen	
						aufwärts	abwärts
<b>A</b>	< 0,1	9	3	> 30	2	2	2
<b>B</b>	0,1 ... 0,6	9	2	> 30	2	2	1
<b>C</b>	> 0,6	5	1	> 30	2	1	1

(\*) Der Bezug auf die Spanne wurde gewählt, um die Auswahl des Ablaufes (erforderlicher Kalibrieraufwand) aus der Tabelle zu ermöglichen, da üblicherweise die Genauigkeitsangaben der Hersteller auf die Messspanne bezogen sind.

(\*\*) Der Beharrungszustand (ausreichend stabile Anzeige des Normales und des Kalibriergegenstandes) ist in jedem Falle abzuwarten.

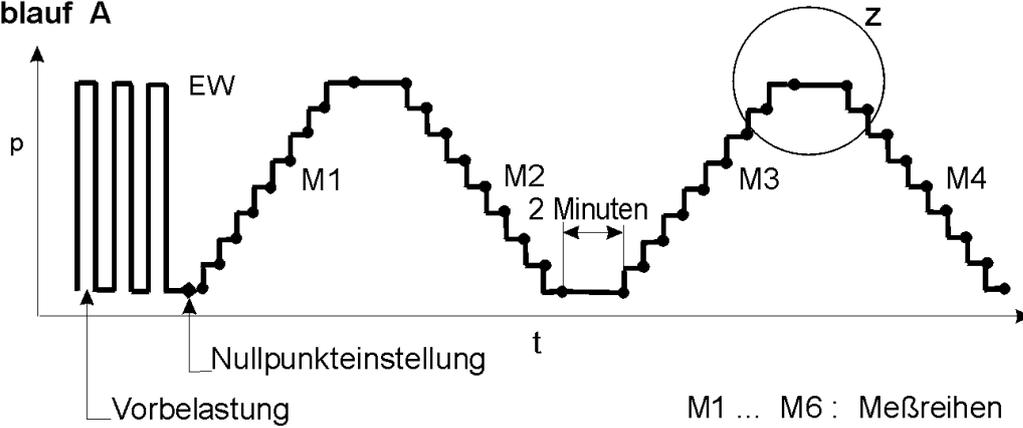
(\*\*\*) Für Federmanometer ist eine Haltezeit von 5 Minuten einzuhalten. Bei quasi-statischen Kalibrierungen (piezoelektrisches Sensorprinzip) können die Haltezeiten verringert werden.

**Hinweis:**

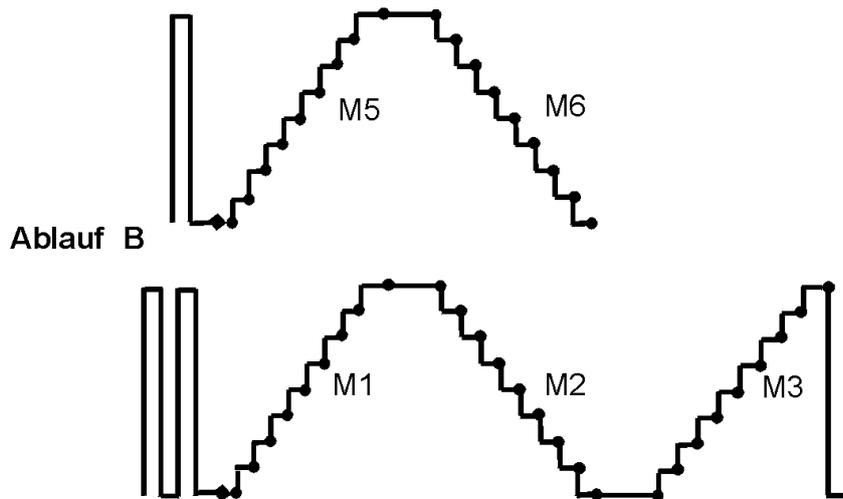
Für die Kalibrierung von Kalibriergegenständen mit einem Messbereich von größer als 2500 bar ist grundsätzlich der Kalibrierablauf A anzuwenden. Ggf. ist mit einer 2. Aufspannung zu kalibrieren, falls Einspanneffekte beobachtet werden.

**Abbildung 2:** Visualisierung der Kalibrierabläufe

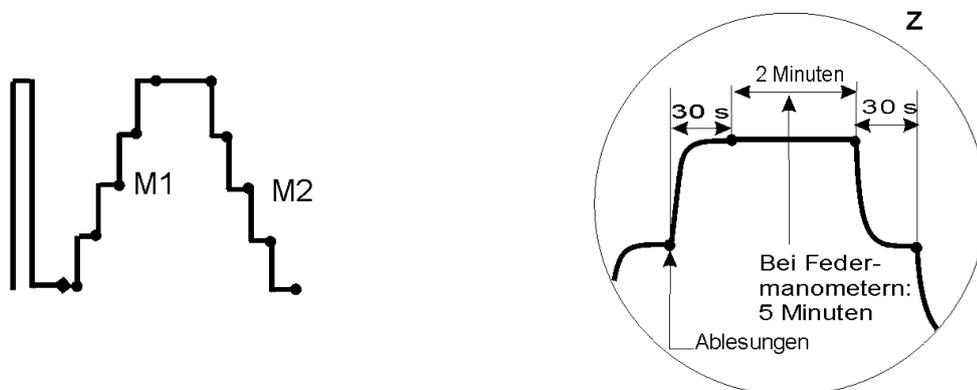
**Ablauf A**



Zusätzliche Wiederholungsmessung bei 2. Aufspannung



**Ablauf C**



## 8 Messunsicherheit<sup>2</sup>

### 8.1 Definition

Kennwert, der zusammen mit dem Messergebnis angegeben wird, d.h. dem Messergebnis durch die Messung beigeordnet wird, und den Bereich der Werte charakterisiert, die der Messgröße durch die Messung vernünftigerweise zugeschrieben werden können.

### 8.2 Vorgehensweise

#### 8.2.1 Modell der Auswertung

Die Unsicherheitsanalyse erfolgt grundsätzlich nach dem in der Schrift DAkKS-DKD-3 beschriebenen Ablauf. Darin werden folgende Begriffe und Berechnungsvorschriften unter der Bedingung verwendet, dass keine Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen zu berücksichtigen sind:

Modellfunktion			$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$
<b>Standardmessunsicherheit</b>	$u(x_i)$	der Eingangsgröße beigeordnete Standardmessunsicherheit	
	$c_i$	Sensitivitätskoeffizient	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$
	$u_i(y)$	durch die Standardmessunsicherheit $u(x_i)$ der Eingangsgröße $x_i$ hervorgerufener Beitrag zu der dem Ergebnis beigeordneten Standardmessunsicherheit	$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$
	$u(y)$	dem Ergebnis beigeordnete Standardmessunsicherheit	$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$ $u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$
<b>Erweiterte Messunsicherheit</b>	$U(y)$	erweiterte Messunsicherheit	$U(y) = k \cdot u(y)$
	$k$	Erweiterungsfaktor	$k = 2$ für eine weitgehend normalverteilte Messgröße und eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95%

<sup>2</sup> Zur Terminologie s. DIN V ENV 13005.

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b>  <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	15/44

Werden relative Messunsicherheiten verwendet, so werden die Variablen  $u, U$  durch die Variablen  $w, W$  ersetzt.

Die Berechnungsvorschrift führt bei komplexen Modellen schnell zu einer nicht mehr handhabbaren analytischen Bestimmung der Sensitivitätskoeffizienten, so dass man zur EDV-unterstützten numerischen Bestimmung der Sensitivitätskoeffizienten übergehen wird.

Neben dieser allgemeinen Berechnungsvorschrift existieren jedoch zwei Sonderfälle, die zu Sensitivitätskoeffizienten  $c_i = \pm 1$  und damit zur einfachen quadratischen Addition der Unsicherheiten der Eingangsgrößen führen. Hiermit wird eine einfache Unsicherheitsanalyse ohne EDV-Programm-Unterstützung ermöglicht.

#### **Anmerkung:**

Auch das „einfache“ Modell muss selbstverständlich den physikalischen Vorgang der Messung / Kalibrierung korrekt wiedergeben. Ggf. müssen komplexere Zusammenhänge mit einem geeigneten Modell (kein Sonderfall) in einem weiteren Messunsicherheitsbudget dargestellt werden (s. Anhang A – Abschätzung der Messunsicherheit, die den Werten des Kolbenmanometers unter Anwendungsbedingungen beizuordnen ist).

#### **8.2.2 Summe-/Differenzmodell**

$$Y = X + \sum_{i=1}^N \delta X_i \quad (1)$$

$Y$	Ergebnisgröße
$X$	Wertbestimmende Eingangsgröße(n)
$\delta X_i$	unbekannte Messabweichung(en)
$E[\delta X_i] = 0$	Erwartungswert, [die Anteile tragen nicht zur Ermittlung der Ergebnisgröße bei (es werden keine Korrekturen angebracht), sie liefern jedoch einen Beitrag zur Messunsicherheit]

z. B. Modell zur Ermittlung der Messabweichung der Anzeige:

$$\Delta p = p_{\text{Anzeige}} - p_{\text{Normal}} + \sum_{i=1}^N \delta p_i \quad (2)$$

Dieses Modell eignet sich besonders für Kalibriergegenstände mit eigener Anzeige in Einheiten des Druckes (z. B. Federmanometer, elektrisches Druckmessgerät). Hierbei werden die Messunsicherheiten ebenfalls in der Einheit der physikalischen Größe Druck (Pascal, bar, etc.) angegeben.

#### **8.2.3 Produkt-/Quotientmodell**

$$Y = X \cdot \prod_{i=1}^N K_i \quad (3)$$

$Y$	Ergebnisgröße
$X$	Wertbestimmende Eingangsgröße(n)
$K_i = (1 + \delta X_i)$	Korrektionsfaktor(en)
$\delta X_i$	unbekannte Messabweichung(en)

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b>  <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	16/44

$E[\delta X_i] = 0$ ;  $E[K_i] = 1$  Erwartungswerte,  
[die Anteile tragen nicht zur Ermittlung der Ergebnisgröße bei  
(es werden keine Korrekturen angebracht),  
sie liefern jedoch einen Beitrag zur Messunsicherheit]

z. B. Modell zur Ermittlung des Übertragungskoeffizienten eines Druckaufnehmers  
(DMS-Aufnehmer):

$$S = \frac{X_{\text{Aus}}}{X_{\text{Ein}}} = \frac{V_{\text{Anzeige}} / (G \cdot V_{\text{Sp}})}{p_{\text{Normal}}} \cdot \prod_{i=1}^N K_i \quad (4)$$

Dieses Modell eignet sich besonders für Kalibriergegenstände ohne eigene Anzeige (z. B. Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang) unter Verwendung von bezogenen Messunsicherheiten (dimensionslos).

### 8.2.4 Eingangsgrößen

Die den Eingangsgrößen beigeordneten Messunsicherheiten werden bezüglich ihrer Ermittlung in zwei Kategorien eingeteilt:

**Typ A:** Bei der Ermittlung des Wertes und der ihm beigeordneten Standardmessunsicherheit werden Analysemethoden der Statistik für Messreihen unter Wiederholbedingungen ( $n \geq 10$ ) angewendet.

**Typ B:** Die Ermittlung des Wertes und der ihm beigeordneten Standardmessunsicherheit beruht auf anderen wissenschaftlichen Erkenntnissen und kann aus folgenden Informationen eingeschätzt werden:

- Daten aus vorangegangenen Messungen
- allgemeine Kenntnisse und Erfahrungen über die Eigenschaften und das Verhalten von Messinstrumenten und Materialien
- Herstellerangaben
- Kalibrierscheine oder anderen Zertifikaten
- Referenzdaten aus Handbüchern

In vielen Fällen lässt sich für den Wert einer Größe nur die Ober- und Untergrenze  $a_+$  und  $a_-$  angeben, wobei alle Werte innerhalb der Grenzen als gleich wahrscheinlich angesehen werden können. Dieser Sachverhalt kann am besten mit einer rechteckförmigen Wahrscheinlichkeitsdichte beschrieben werden.

Mit 
$$a_+ - a_- = 2a \quad (5)$$

erhält man den Schätzwert der Eingangsgröße

$$x_i = \frac{1}{2} \cdot (a_+ + a_-) \quad (6)$$

und die beigeordnete Standardmessunsicherheit

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Liegen die Werte mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Mitte bzw. am Rand des Bereiches, dann ist die Annahme einer dreieck- bzw. einer U-förmigen Verteilung sinnvoll.

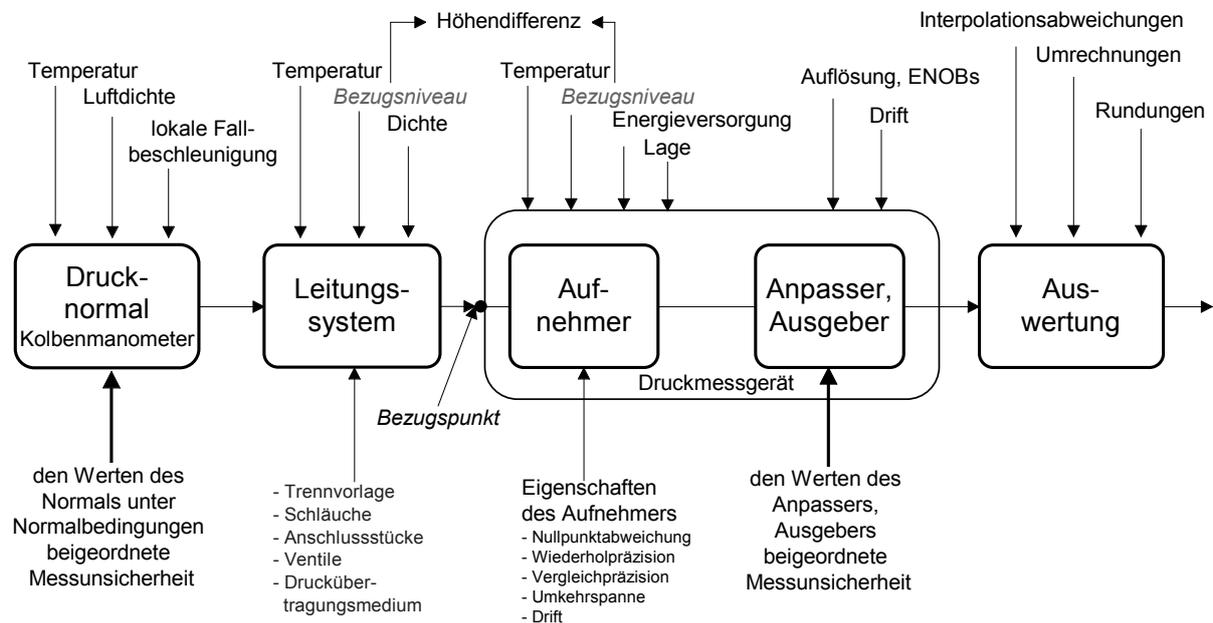
**Tabelle 2:** Weitere Verteilungsformen Typ B

Verteilung	Standardmessunsicherheit
Dreieck	$u = \frac{a}{\sqrt{6}}$
U-förmig	$u = \frac{a}{\sqrt{2}}$
etc.	

### 8.2.5 Mögliche Einflussgrößen, Beispiel

Für die Aufstellung des Modells der Auswertung ist es empfehlenswert ein Blockschaltbild zu erstellen, aus dem die Ursache-Wirkung-Ausbreitung ersichtlich wird. Beispielhaft zeigt folgende Darstellung die möglichen Einflussgrößen bei der Kalibrierung eines Druckmessgerätes mit einem Kolbenmanometer.

**Abbildung 3:** Einflussgrößen bei der Kalibrierung eines Druckmessgerätes



**Anmerkung:**

Mitunter ist es für den ersten Ansatz hilfreich, die Einflussgrößen den Blöcken Normal  
Verfahren  
Kalibriergegenstand zuzuordnen.

Die Messunsicherheiten, die den Werten des Normalis, des Anpassers und Ausgebers beigeordnet sind, werden aus Kalibrierscheinen entnommen (i. allg. normalverteilt,  $k = 2$ ).

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	18/44

### 8.3 Kalibrierung von Federmanometern

#### 8.3.1 Modell der Auswertung

Geeignet ist z. B. ein einfaches Summe- / Differenzmodell zur Ermittlung der Messabweichung der Anzeige – getrennt für die Messwerte in Richtung zunehmenden Druckes bzw. für die Messwerte in Richtung abnehmenden Druckes:

$$\Delta p_{\text{auf/ab}} = p_{\text{Anz,auf/ab}} - p_{\text{Normal}} + \sum_{i=1}^2 \delta p_i = p_{\text{Anz,auf/ab}} - p_{\text{Normal}} + \delta p_{\text{Nullpunktabweichung}} + \delta p_{\text{Wiederholpräzision}} \quad (8)$$

$Y = \Delta p_{\dots}$	Messgröße; Messabweichung der Anzeige Index ... steht für auf/ab bzw. mittel (s. Gl. 8 u. 9)
$X_1 = p_{\text{Anz},\dots}$	Anzeige des Druckmessgerätes Index ... steht für auf/ab bzw. mittel (s. Gl. 8 u. 9)
$X_2 = p_{\text{Normal}}$	Wert des Bezugsnormals <sup>3</sup>
$X_3 = \delta p_{\text{Nullpunktabweichung}}$	unbekannte Messabweichung bedingt durch die Nullpunktabweichung
$X_4 = \delta p_{\text{Wiederholpräzision}}$	unbekannte Messabweichung bedingt durch die Wiederholpräzision

und für die Mittelwerte:

$$\Delta p_{\text{mittel}} = p_{\text{Anz,mittel}} - p_{\text{Normal}} + \sum_{i=1}^3 \delta p_i = p_{\text{Anz,mittel}} - p_{\text{Normal}} + \delta p_{\text{Nullpunktabweichung}} + \delta p_{\text{Wiederholpräzision}} + \delta p_{\text{Umkehrspanne}} \quad (9)$$

$$p_{\text{Anz,mittel}} = \frac{p_{\text{Anzeige, auf}} + p_{\text{Anzeige, ab}}}{2} \quad (10)$$

$X_5 = \delta p_{\text{Umkehrspanne}}$	unbekannte Messabweichung bedingt durch die Umkehrspanne
--	--

Bei getrennter Betrachtung der Auf- und Abwärtsreihen bestimmt sich die erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ ) zu:

<sup>3</sup> Der Wert des Bezugsnormals berücksichtigt den Einsatz des Kolbenmanometers unter Anwendungsbedingungen (Anbringen von Korrekturen). Auch die Unsicherheitsanalyse enthält deshalb Messunsicherheitsbeiträge des Kolbenmanometers sowohl unter Referenz- als auch unter Anwendungsbedingungen. Der letztere Beitrag wird in Messunsicherheitsbudgets (s. Anhang A Abschätzung der Messunsicherheit, die den Werten des Kolbenmanometers unter Anwendungsbedingungen beizuordnen ist) für die Einflüsse der Temperatur, des thermischen Längenausdehnungskoeffizienten, der Fallbeschleunigung, der Luftdichte, des Deformationskoeffizienten (Kolbenmanometer) bzw. für Dichte, Fallbeschleunigung, Höhe (Höhendifferenz) bestimmt.

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	19/44

$$U_{\text{auf/ab}} = k \cdot u_{\text{auf/ab}} \quad (11)$$

$$U_{\text{auf/ab}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{Normal}}^2 + u_{\text{Auflösung}}^2 + u_{\text{Nullpunkt abw.}}^2 + u_{\text{Wiederholpräz.}}^2}$$

und eine sog. Abweichungsspanne<sup>4</sup> unter Berücksichtigung der systematischen Abweichung zu:

$$U'_{\text{auf/ab}} = U_{\text{auf/ab}} + |\Delta p_{\text{auf/ab}}| \quad (12)$$

Bei Verwendung der Mittelwerte aus Auf- und Abwärtsreihen berechnet sich die erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ ) zu:

$$U_{\text{mittel}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{auf,ab}}^2 + u_{\text{Umkehrspanne}}^2} \quad (13)$$

wobei für die Berechnung der Messunsicherheit  $u_{\text{auf,ab}}$  der größere Wert der Wiederholpräzision einzusetzen ist.

Die zugehörige Abweichungsspanne bestimmt sich zu:

$$U'_{\text{mittel}} = U_{\text{mittel}} + |\Delta p_{\text{mittel}}| \quad (14)$$

### 8.3.2 Unsicherheitsanalyse

Die Kenntnisse über die Eingangsgrößen werden vorzugsweise in einer Tabelle zusammengefasst.

---

<sup>4</sup> Als Abweichungsspanne wird der maximal zu erwartende Unterschied zwischen dem gemessenen Wert und dem richtigen Wert der Messgröße bezeichnet. Die Abweichungsspanne kann zur Charakterisierung der Genauigkeit (engl. accuracy) benutzt werden.

**Tabelle 3: Unsicherheitsanalyse für die Kalibrierung eines Federmanometers**

lfd. Nr.	Größe	Schätzwert	Breite der Verteilung	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Teiler	Standardmessunsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Einheit <sup>5</sup>
	$X_i$	$x_i$	$2a$	$P(x_i)$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	
1	$p_{\text{Anz},...}$	$p_{i, \text{Anz},...}$	$2r$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(r) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2r}{2}\right)^2}$	1	$u_r$	bar
2	$p_{\text{Normal}}$	$p_{i, \text{Normal}}$		Normal	2	$u(\text{Normal})$	-1	$u_{\text{Normal}}$	bar
3	$\delta p_{\text{Nullpunkt abw.}}$	0	$f_0$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(f_0) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{f_0}{2}\right)^2}$	1	$u_{f_0}$	bar
4	$\delta p_{\text{Wiederholpräz.}}$	0	$b'$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(b') = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b'}{2}\right)^2}$	1	$u_{b'}$	bar
5	$\delta p_{\text{Umkehrspanne}}$	0	$h$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2}$	1	$u_h$	bar
	$Y$	$\Delta p_{...}$						$u(y)$	bar

### 8.3.3 Belastungsstufenbezogenes Messunsicherheitsbudget

Die Abschätzung der Messunsicherheit hat für jeden Kalibrierwert, d.h. für jede Belastungsstufe zu erfolgen. Für eine übersichtliche Darstellung wird folgende Tabelle - jeweils für die auf-, absteigenden und Mittel-Werte - empfohlen:

**Tabelle 4: Messunsicherheitsbudget**

Druck	Messabweichung	Standardmessunsicherheit			Erweiterte Messunsicherheit $U(k=2)$	Abweichungsspanne $U'$
		Beitrag 1	...	Beitrag $n$		
bar	bar		bar		bar	bar
min.						
...						
max.						

<sup>5</sup> Es wird empfohlen, die Einheit der Unsicherheitsbeiträge mitzuführen (Einheit der physikalischen Größe, Anzeigeeinheit, bezogene (dimensionslose) Größe, etc.).

### 8.3.4 Einwertangabe

Zusätzlich zur Angabe der Abweichungsspanne für jede Belastungsstufe kann dem Kunden die maximale Abweichungsspanne im Gültigkeitsbereich der Kalibrierung (in der Einheit des Druckes, bezogen auf den Messwert bzw. auf die Messspanne) mitgeteilt werden. Ebenso kann die Konformität bestätigt werden (s. 0.).

## 8.4 Kalibrierung von elektrischen Druckmessgeräten

Das Modell der Auswertung und das Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines Federmanometers können auch bei der Kalibrierung eines elektrischen Druckmessgerätes (ziffernrichtige Anzeige in Einheiten des Druckes) verwendet werden. Ggf. ist zusätzlich ein Anteil „Vergleichpräzision  $b$  bei wiederholtem Einbau“ zu berücksichtigen.

$X_6 = \delta p_{\text{Vergleichpräz.}}$	unbekannte Messabweichung bedingt durch die Vergleichpräzision
--	--

**Tabelle 5:** Zusätzliche Komponente bei der Unsicherheitsanalyse für die Kalibrierung eines elektrischen Druckmessgerätes

Ifd. Nr.	Größe	Schätzwert	Breite der Verteilung	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Teiler	Standardmessunsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Einheit
	$X_i$	$x_i$	$2a$	$P(x_i)$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	
6	$\delta p_{\text{Vergleichpräz.}}$	0	$b$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(b) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2}$	1	$u_b$	bar

Die erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ ) für die Auf- bzw. Abwärtsreihen wird hier folgendermaßen ermittelt:

$$U_{\text{auf/ab}} = k \cdot u_{\text{auf/ab}} \tag{15}$$

$$U_{\text{auf/ab}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{Normal}}^2 + u_{\text{Auflösung}}^2 + u_{\text{Nullpunkt abw.}}^2 + u_{\text{Wiederholpräz.}}^2 + u_{\text{Vergleichpräz.}}^2}$$

Die Ermittlung der zugehörigen Abweichungsspanne für die Auf- bzw. Abwärtsreihen bzw. der erweiterten Messunsicherheit und der Abweichungsspanne für den Mittelwert erfolgt analog der Verfahrensweise beim Federmanometer.

## 8.5 Kalibrierung von Druckaufnehmern und Druckmessumformern mit elektrischem Ausgang

### 8.5.1 Modell der Auswertung

Geeignet ist z. B. ein einfaches Produkt-/Quotientmodell zur Bestimmung des Übertragungskoeffizienten – getrennt für die Messwerte in Richtung zunehmenden Druckes bzw. für die Messwerte in Richtung abnehmenden Druckes:

$$S_{\text{auf/ab}} = \frac{X_{\text{Aus,auf/ab}}}{X_{\text{Ein}}} = \frac{V_{\text{Anz,auf/ab}} / (GV_{\text{Sp}})}{p_{\text{Normal}}} \prod_{i=1}^3 K_i = \frac{V_{\text{Anz,auf/ab}} / (GV_{\text{Sp}})}{p_{\text{Normal}}} K_{\text{Nullpunktabweichung}} K_{\text{Wiederholpräzision}} K_{\text{Vergleichpräzision}} \tag{16}$$

$Y = S_{\dots}$	Messgröße; Übertragungskoeffizient Index ... steht für auf/ab bzw. mittel (s. Gl. 16 u. 17)
$X_1 = V_{\text{Anz},\dots}$	Anzeige des Ausgebers (Spannungsmessgerät) Index ... steht für auf/ab bzw. mittel (s. Gl. 16 u. 17)
$X_2 = G$	Übertragungskoeffizient des Anpassers (beigestellter Verstärker)
$X_3 = V_{\text{Sp}}$	Wert der Speisespannung (Hilfsgerät)
$X_4 = p_{\text{Normal}}$	Wert des Bezugsnormals
$X_5 = K_{\text{Nullpunktabweichung}}$	Korrektionsfaktor bedingt durch die Nullpunktabweichung
$X_6 = K_{\text{Wiederholpräzision}}$	Korrektionsfaktor bedingt durch die Wiederholpräzision
$X_7 = K_{\text{Vergleichpräzision}}$	ggf. Korrektionsfaktor bedingt durch die Vergleichpräzision

Für die Mittelwerte gilt:

$$S_{\text{mittel}} = \frac{X_{\text{Aus,mittel}}}{X_{\text{Ein}}} = \frac{V_{\text{Anz,mittel}} / (GV_{\text{Sp}})}{p_{\text{Normal}}} \prod_{i=1}^4 K_i = \frac{V_{\text{Anz,mittel}} / (GV_{\text{Sp}})}{p_{\text{Normal}}} K_{\text{Nullpunktabweichung}} K_{\text{Wiederholpräzision}} K_{\text{Vergleichpräzision}} K_{\text{Umkehrspanne}} \quad (17)$$

$X_8 = K_{\text{Umkehrspanne}}$	Korrektionsfaktor bedingt durch die Umkehrspanne
---------------------------------	--

Bei getrennter Betrachtung der Auf- und Abwärtsreihen bestimmen sich die relative erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ ) zu:

$$W_{\text{auf/ab}} = k \cdot w_{\text{auf/ab}} \quad (18)$$

$$W_{\text{auf/ab}} = k \cdot \sqrt{w_{\text{Normal}}^2 + w_{\text{Ausgeber}}^2 + w_{\text{Anpasser}}^2 + w_{\text{Hilfsgerät}}^2 + w_{\text{Nullpunktabh.}}^2 + w_{\text{Wiederholpräz.}}^2 \left( + w_{\text{Vergleichpräz.}}^2 \right)}$$

und die zugehörigen Abweichungsspannen zu:

$$W'_{\text{auf/ab}} = W_{\text{auf/ab}} + \left| \frac{\Delta S_{\text{auf/ab}}}{S'} \right| \quad (19)$$

mit der systematischen Abweichung

$$\Delta S_{\text{auf/ab}} = S_{\text{auf/ab}} - S' \quad (20)$$

wobei  $S'$  vorzugsweise die Steigung der Ausgleichsgeraden durch sämtliche Messwerte und durch den Nullpunkt des Ausgangssignals des Messumformers darstellt.

Bei Verwendung des Mittelwertes aus Auf- und Abwärtsreihen berechnet sich die relative erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ ) zu:

$$W_{\text{mittel}} = k \cdot \sqrt{w_{\text{auf,ab}}^2 + w_{\text{Umkehrspanne}}^2} \quad (21)$$

wobei für die Berechnung der Messunsicherheit  $w_{\text{auf,ab}}$  der größere Wert der Wiederholpräzision einzusetzen ist.

Die zugehörige Abweichungsspanne bestimmt sich zu:

$$W'_{\text{mittel}} = W_{\text{mittel}} + \left| \frac{\Delta S_{\text{mittel}}}{S'} \right| \quad (22)$$

mit

$$\Delta S_{\text{mittel}} = S_{\text{mittel}} - S' \quad (23)$$

für  $S'$  s. oben

### 8.5.2 Unsicherheitsanalyse

Die Kenntnisse über die Eingangsgrößen werden vorzugsweise in einer Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 6:** Unsicherheitsanalyse für die Kalibrierung eines Druckmessumformers mit elektrischem Ausgang

Ifd. Nr.	Größe	Schätzwert	Breite der Verteilung	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Teiler	Standardmessunsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Einheit
	$X_i$	$x_i$	$2a$	$p(x_i)$		$w(x_i)$	$c_i$	$w_i(y)$	
1	$V_{\text{Anz, ...}}$	$V_{i, \text{Anz, ...}}$		Normal	2	$w(\text{Ausgeber})$	1	$w_{\text{Ausgeber}}$	#
2	$G$	$G$		Normal	2	$w(\text{Anpasser})$	-1	$w_{\text{Anpasser}}$	#
3	$V_{\text{Sp}}$	$V_{\text{Sp}}$		Normal	2	$w(\text{Hilfsgerät})$	-1	$w_{\text{Hilfsgerät}}$	#
4	$p_{\text{Normal}}$	$p_{i, \text{Normal}}$		Normal	2	$w(\text{Normal})$	-1	$w_{\text{Normal}}$	#
5	$K_{\text{Nullpunktav.}}$	1	$f_0^{(6)}$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$w(f_0) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{f_0}{2}\right)^2}$	1	$w_{f_0}$	#
6	$K_{\text{Wiederholpräz.}}$	1	$b'$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$w(b') = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b'}{2}\right)^2}$	1	$w_{b'}$	#
7	$K_{\text{Vergleichpräz.}}$	1	$b$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$w(b) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2}$	1	$w_b$	#
8	$K_{\text{Umkehrspanne}}$	1	$h$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$w(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2}$	1	$w_h$	#
	$Y$	$S_{\dots}$						$w(y)$	#

<sup>6)</sup> Die Kenngrößen  $f_0$ ,  $b'$ ,  $b$  und  $h$  sind hier relative, d.h. auf den Messwert (Anzeige) bezogene Größen, die beim Druck Null nicht definiert sind.

### 8.5.3 Belastungsstufenbezogenes Messunsicherheitsbudget

Die Abschätzung der Messunsicherheit hat für jeden Kalibrierwert, d.h. für jede Belastungsstufe zu erfolgen. Für eine übersichtliche Darstellung wird folgende Tabelle - jeweils für die auf-, absteigenden und Mittel-Werte - empfohlen:

**Tabelle 7:** Messunsicherheitsbudget

Druck bar	Rel. Standardmessunsicherheit $w$			Rel. erweiterte Messunsicherheit $W$ ( $k = 2$ ) #
	Beitrag 1	...	Beitrag $n$	
min.				
...				
max.				

### 8.5.4 Einwertangabe

#### Übertragungskoeffizient als Steigung einer linearen Ausgleichsfunktion

Beim Einsatz des Druckaufnehmers wird normalerweise nicht mit unterschiedlichen Übertragungskoeffizienten für die einzelnen Belastungsstufen (= Kalibrierdrücke) gearbeitet, sondern mit einem einzigen Übertragungskoeffizienten für den gesamten Gültigkeitsbereich der Kalibrierung. Dies ist vorzugsweise die Steigung der Ausgleichsgeraden durch sämtliche Messwerte und durch den Nullpunkt des Ausgangssignals des Messumformers (Ausgleich ohne Absolutglied).

Bei Verwendung dieser Kenngröße des Druckaufnehmers tritt an die Stelle der den einzelnen Messwerten des Übertragungskoeffizienten beigeordneten Messunsicherheiten eine Konformitätsaussage (vgl. 0).

Dazu sind die Abweichungsgrenzbeträge festzulegen. Dies kann, ausgehend von den Kalibrierergebnissen, durch Berechnung der Abweichungsspannen nach 0 erfolgen ("selbstbestimmte Konformität"; Festlegung auf Grund von Herstellerangaben s. unten). Dabei sind

- die den einzelnen Messwerten des Übertragungskoeffizienten beigeordneten Messunsicherheiten und
- die Abweichungen dieser Werte von der Einwertangabe des Übertragungskoeffizienten zu berücksichtigen.

In der Regel ergeben sich Abweichungsspannen, deren Beträge mit zunehmendem Druck kleiner werden. Als Abweichungsgrenzbetrag kann

- die größte berechnete Abweichungsspanne gewählt werden (in diesem Fall werden die Abweichungsgrenzbeträge im Kalibrierdiagramm als Geraden parallel zur Druck-Achse dargestellt; vgl. 0, Druckmessumformer mit elektrischem Ausgangssignal, Abbildung 5, obere Teilbilder) oder
- die Abweichungsgrenzbeträge werden durch geeignete Kurven wie Hyperbeln oder Polynome beschrieben (vgl. 0, Druckmessumformer mit elektrischem Ausgangssignal, Abbildung 5, untere Teilbilder).

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	25/44

### Hinweis:

Die Verwendung druckabhängiger Abweichungsgrenzbeträge ist nicht gängige Praxis. Sie ermöglicht jedoch bei Druckmessungen mit dem kalibrierten Gerät im oberen Teil des Messbereichs die Angabe kleinerer Messunsicherheiten.

Bei Kalibriergegenständen mit vom Hersteller abgeglichenem Nennkennwert (z.B. 2 mV/V) können die Abweichungsgrenzbeträge alternativ auch aus der zugeordneten Kennwerttoleranz ermittelt werden. In diesem Fall ist jedoch stets zu prüfen, ob die bei der Kalibrierung bestimmten Werte der Übertragungskoeffizienten einschließlich ihrer beigeordneten Messunsicherheiten und ihrer systematischen Abweichungen von der Einwert-Angabe des Kennwertes die Abweichungsgrenzbeträge nicht überschreiten.

## 8.6 Ermittlung der relevanten Kenngrößen für die Unsicherheitsanalyse

### 8.6.1 Auflösung $r$

#### 8.6.1.1 Analoge Anzeigeeinrichtungen

Die Auflösung der Anzeigeeinrichtung ergibt sich aus dem Verhältnis der Zeigerbreite zum Mittenabstand zweier benachbarter Teilstriche (Skalenteilungswert). Als Verhältnis wird 1/2, 1/5, 1/10 empfohlen. Soll dieses Verhältnis (d.h. der schätzbare Bruchteil eines Skalenteilungswertes) 1/10 betragen, so muss der Teilstrichabstand 2,5 mm oder größer sein (vgl. auch DIN 43790).

#### Anmerkung:

Der beste Schätzwert einer analogen Anzeigeeinrichtung wird durch visuelle Interpolation ermittelt. Der kleinste schätzbare Bruchteil eines Skalenteilungswertes ist der Interpolationsanteil ( $r$ ), mit dem Messwerte unterschieden werden können. Der Variationsbereich für den besten Schätzwert ( $x$ ) ergibt sich somit zu  $a_+ = x + r$  und  $a_- = x - r$  mit der Breite der Rechteckverteilung  $2a = 2 \cdot r$ .

#### 8.6.1.2 Digitale Anzeigeeinrichtungen

Die Auflösung entspricht dem Ziffersschritt, sofern bei unbelasteter Druckmesseinrichtung die Anzeige um nicht mehr als ein Ziffersschritt schwankt.

#### Anmerkung:

Für die Ermittlung des Messunsicherheitsbeitrages wird der Halbbreite der Rechteckverteilung der halbe Wert der Auflösung ( $a = r/2$ ) zugewiesen. Im Abschnitt 0 taucht dieser Unsicherheitsbeitrag nicht explizit auf, da er in der Messunsicherheit des Ausgebers (Anzeigers) enthalten ist (Kalibrierscheinangabe).

#### 8.6.1.3 Anzeigeschwankung

Wenn die Anzeige bei unbelasteter Druckmesseinrichtung um mehr als den zuvor ermittelten Wert der Auflösung schwankt, so ist die Auflösung  $r$  mit der halben Spannweite der Schwankung - zusätzlich addiert mit einem Ziffersschritt - anzusetzen.

### 8.6.2 Nullpunktabweichung $f_0$

Der Nullpunkt kann vor jedem Messzyklus, bestehend aus Auf- und Abwärtsmessreihe, eingestellt und muss vor und nach jedem Messzyklus aufgezeichnet werden. Die Ablesung ist bei völliger Entlastung vorzunehmen.

Die Nullpunktabweichung wird folgendermaßen berechnet:

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	26/44

$$f_0 = \max \left\{ |x_{2,0} - x_{1,0}|, |x_{4,0} - x_{3,0}|, |x_{6,0} - x_{5,0}| \right\} \quad (24)$$

Die Indizes nummerieren die an den Nullpunkten der Messreihen M1-M6 abgelesenen Messwerte  $x$ .

### 8.6.3 Wiederholpräzision $b'$

Die Wiederholpräzision bei unverändertem Einbau wird aus der Differenz der nullsignalbereinigten Messwerte korrespondierender Messreihen ermittelt.

$$\begin{aligned}
 b'_{\text{auf},j} &= \left| (x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right| \\
 b'_{\text{ab},j} &= \left| (x_{4,j} - x_{4,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0}) \right| \\
 b'_{\text{mittel},j} &= \max \{ b'_{\text{auf},j}, b'_{\text{ab},j} \}
 \end{aligned} \quad (25)$$

Der Index  $j$  nummeriert die Nominalwerte des Druckes ( $j = 0$ : Nullpunkt).

### 8.6.4 Vergleichpräzision $b$

Die Vergleichpräzision bei wiederholtem Einbau und unveränderten Bedingungen wird aus der Differenz der nullsignalbereinigten Messwerte korrespondierender Messreihen bestimmt:

$$\begin{aligned}
 b_{\text{auf},j} &= \left| (x_{5,j} - x_{5,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right| \\
 b_{\text{ab},j} &= \left| (x_{6,j} - x_{6,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0}) \right| \\
 b_{\text{mittel},j} &= \max \{ b_{\text{auf},j}, b_{\text{ab},j} \}
 \end{aligned} \quad (26)$$

Für den Index  $j$  s. oben.

### 8.6.5 Umkehrspanne $h$

Bei der Angabe von Mittelwerten wird die Umkehrspanne aus der Differenz der nullpunktbeinigten Messwerte der Aufwärts- und Abwärtsreihen wie folgt ermittelt:

$$h_{\text{mittel},j} = \frac{1}{n} * \left\{ \left| (x_{2,j} - x_{1,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right| + \left| (x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0}) \right| + \left| (x_{6,j} - x_{5,0}) - (x_{5,j} - x_{5,0}) \right| \right\} \quad (27)$$

Für den Index  $j$  s. oben. Die Variable  $n$  stellt die Anzahl der vollständigen Messzyklen dar.

## 9 Auswertung der Messergebnisse und Angaben im Kalibrierschein

Die Hauptbestandteile der Druckmesseinrichtung erhalten je eine Kalibriermarke; bei Messketten erhält jedes Gerät eine Kalibriermarke.

Zusätzlich zu den in DAkkS-DKD-5 enthaltenen Forderungen sind im Kalibrierschein folgende Angaben aufzuführen:

- Kalibrierverfahren (DKD-R 6-1 Ablauf A, B, C oder EN 837 Teil 1 und 3)
- Druckübertragungsmittel
- Druckbezugsebene am Kalibriergegenstand
- Lage des Kalibriergegenstandes bei Kalibrierung
- gewählte Einstellungen am Kalibriergegenstand

Der Kalibrierschein sollte eine Tabelle aller Messwerte enthalten, z.B.:

**Tabelle 8:** Messwerte

<b>Druck</b>	<b>Angezeigter Wert <math>p_{\text{Anzeige}}</math></b>					
	<b>Kalibrierablauf A</b>				<b>Messung bei 2. Aufspannung</b>	
	<b>Kalibrierablauf B</b>					
	<b>Kalibrierablauf C</b>					
	M1 (auf)	M2 (ab)	M3 (auf)	M4 (ab)	M5 (auf)	M6 (ab)
bar, Pascal, ...	bar, Pascal, A, V, mV/V, Hz, ...					
min.	min.	min.	min.	min.	min.	min.
↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.

Die Spalte 1 enthält die Druckmesswerte des Normals. Die Spalten 2 bis 7 enthalten die entsprechenden von den Kalibriergegenständen nach

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	28/44

Abbildung 1 (Federmanometer, elektrisches Druckmessgerät, Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang) in Einheiten des Druckes angezeigten bzw. in anderen physikalischen Größen (Strom, Spannung, Spannungsverhältnis, Frequenz, ...) ausgegebenen oder bereits in die Größe Druck umgerechneten Messwerte.

Die weitere Auswertung der Messwerte kann folgende Kenngrößen enthalten:

- Mittelwerte
- Messabweichung der Anzeige
- Nullpunktabweichung
- Wiederholpräzision
- Ggf. Vergleichpräzision
- Umkehrspanne
- Abweichungsspanne
- Einwertangabe
- Konformität

## 9.1 Ermittlung weiterer Kenngrößen

### 9.1.1 Mittelwerte $\bar{x}$

Die Mittelwerte  $\bar{x}_{i,j}$  mit  $i = \text{auf/ab}$ , mittel werden wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{\text{auf},j} &= \frac{1}{l} \cdot \sum_m (x_{m,j} - x_{m,0}) && \text{für } m = 1, 3, 5 \\ \bar{x}_{\text{ab},j} &= \frac{1}{l} \cdot \sum_m (x_{m,j} - x_{(m-1),0}) && \text{für } m = 2, 4, 6 \\ \bar{x}_{\text{mittel},j} &= \frac{\bar{x}_{\text{auf},j} + \bar{x}_{\text{ab},j}}{2} \end{aligned} \quad (28)$$

wobei die Variable  $l$  die Anzahl der Messreihen angibt.

### 9.1.2 Abweichungsspanne $U'$

Die Abweichungsspanne setzt sich additiv aus der erweiterten Messunsicherheit ( $k = 2$ ) und dem Betrag der systematischen Abweichung zusammen. Aufgrund des systematischen Anteils wird der Abweichungsspanne als Verteilungsform die Rechteckverteilung zugewiesen. Die Abweichungsspanne ist je nach Anforderung für die Mittelwerte der Auf- bzw. Abwärtsreihen und den Mittelwert zu bestimmen:

$$\text{z.B.:} \quad U' = U + |\Delta p| \quad (29)$$

Entsprechend wird die relative Abweichungsspanne  $W'$  gebildet.

$$\text{z.B.:} \quad W' = W + \left| \frac{\Delta S}{S'} \right| \quad (30)$$

#### Anmerkung:

s.a. <sup>4</sup> auf S. 19

### 9.1.3 Konformität

Liegen die Abweichungsspanne bzw. die Übertragungskoeffizienten mit beigeordneter Messunsicherheit innerhalb der vom Hersteller angegebenen Fehlergrenze, dann kann die Konformität nach DAkkS-DKD-5 bestätigt werden. Dabei ist deren Gültigkeitsbereich anzugeben.

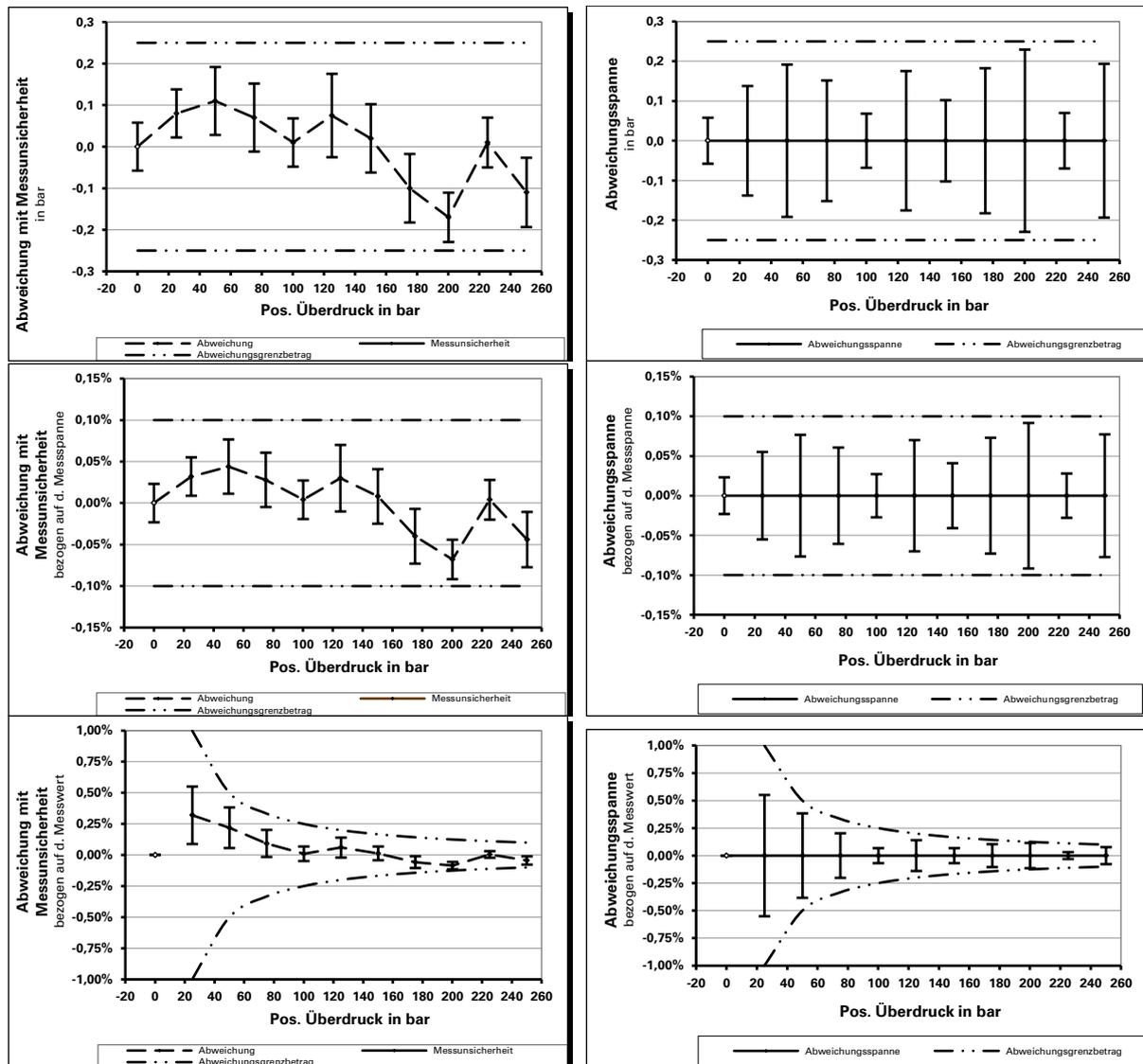
## 9.2 Visualisierung des Kalibrierergebnisses

Für eine bessere Verständlichkeit und einen schnellen Überblick kann das Kalibrierergebnis auch in grafischer Form mitgeteilt werden.

### 9.2.1 Federmanometer, elektrisches Druckmessgerät:

Die systematische Abweichung mit der erweiterten Messunsicherheit bzw. die sich daraus ergebende Abweichungsspanne sind im Vergleich zum Abweichungsgrenzbetrag (Fehlergrenze) darzustellen – in der Einheit der physikalischen Größe und/oder als bezogene Größe. Die Darstellung bezogener Kenngrößen kann dabei in der für eine Geräteart typischen Form (bezogen auf die Messspanne, bezogen auf den Messwert) erfolgen.

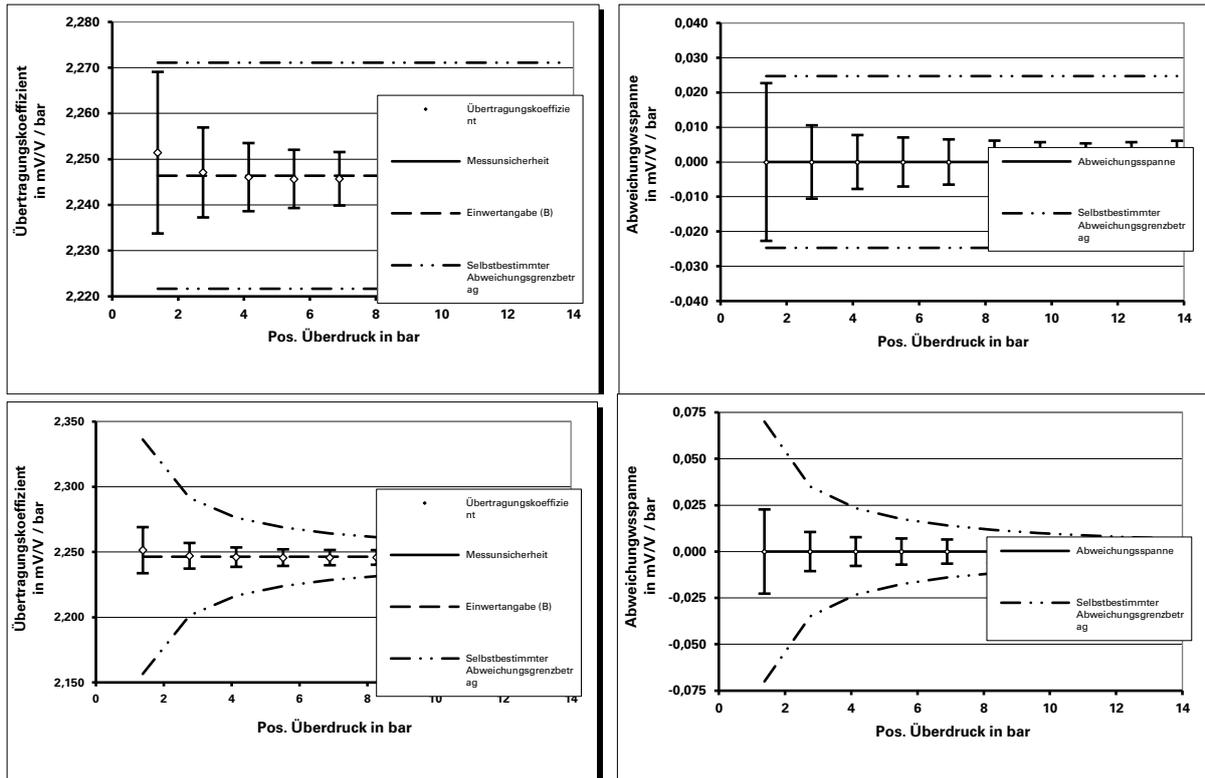
**Abbildung 4:** Visualisierung des Kalibrierergebnisses für ein Federmanometer bzw. ein elektrisches Druckmessgerät



### 9.2.2 Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang

Die Übertragungskoeffizienten und die beigeordneten Messunsicherheiten werden im Vergleich zu den Abweichungsgrenzbeträgen (Fehlergrenzen nach Herstellerangabe bzw. selbstbestimmte Grenze) dargestellt.

**Abbildung 5:** Visualisierung des Kalibrierergebnisses für einen Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang



### 9.3 Grenzwerte für Messunsicherheitsangaben<sup>7</sup>

Bei allen Kalibrierabläufen (A, B, C) wird die Messunsicherheit nach Abschnitt 0 berechnet. Unabhängig vom Ergebnis der Kalibrierung wird die Messunsicherheit

bei	Kalibrierablauf B	nicht kleiner als	0,04%	der Messspanne
und bei	Kalibrierablauf C	nicht kleiner als	0,30%	der Messspanne

angegeben.

Für die Angabe einer Abweichungsspanne bei einer Konformitätsaussage nach DAkkS-DKD-5 darf der Wert

bei	Kalibrierablauf B	nicht kleiner als	0,06%	der Messspanne
und bei	Kalibrierablauf C	nicht kleiner als	0,60%	der Messspanne

angegeben werden.

<sup>7</sup>gilt bis auf weiteres nicht für Messumformer

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	31/44

## 10 Ergänzende Regeln und Normen

Für die Kalibrierung von Druckmessgeräten sind ggf. nachstehend aufgeführten Regeln zu berücksichtigen. Eine Kalibrierung kann auch nach einzelnen Abschnitten einiger dieser Regeln vereinbart werden.

EN 837 Teil 1	Druckmeßgeräte mit Rohrfedern Maße, Meßtechnik, Anforderungen und Prüfung Ausgabe Februar 1997
EN 837 Teil 3	Druckmeßgeräte mit Platten- und Kapselfedern Maße, Meßtechnik, Anforderungen und Prüfung Ausgabe Februar 1997
DIN 16086	Elektrische Druckmeßgeräte Druckaufnehmer, Druckmeßumformer, Druckmeßgeräte Begriffe und Angaben in Datenblättern Ausgabe Mai 1992
DIN 43790	Grundregeln für die Gestaltung von Strichskalen und Zeigern Ausgabe Januar 1991
EA-10/03	Calibration of Pressure Balances Edition 1, July 1997
DAkKS-DKD-R 3-6	Auswahl und Kalibrierung von elektrischen Referenzdruck- messgeräten für die Anwendung in akkreditierten Laborato- rien, 1. Neuauflage 2010

## Anhang A Abschätzung der Messunsicherheit, die den Werten des Kolbenmanometers unter Anwendungsbedingungen beizuordnen ist<sup>8</sup>

Für ein Kolbenmanometer unter Referenzbedingungen sind die Werte und die beigeordnete erweiterte Messunsicherheit  $U_{\text{Normal Ref}}$  dem Kalibrierschein (z.B. der PTB) zu entnehmen. Beim Einsatz unter Anwendungsbedingungen sind an den Werten bezüglich der relevanten Einflussgrößen Korrekturen anzubringen, denen wiederum eine Messunsicherheit beizuordnen ist.

### Modell der Auswertung<sup>9</sup>:

$$p_e = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,i}}\right)}{A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p) \cdot [1 + (\alpha + \beta) \cdot (t - 20^\circ\text{C})]} + \Delta\rho \cdot g \cdot h \quad (31)$$

$$\Delta\rho = \rho_{Fl} - \rho_a \quad (32)$$

### Unsicherheitsanalyse

mit den für den Druckwert des Normals wesentlichen Einflussgrößen Temperatur, therm. Längenausdehnungskoeffizient von Kolben und Zylinder, Fallbeschleunigung und Deformationskoeffizient. Die Sensitivitätskoeffizienten wurden mit den für praktische Anwendungen üblichen Näherungen und für den meist realisierten Fall  $\alpha = \beta$  berechnet.

Tabelle 9

Größe	Schätzwert	Halbreite	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Teiler	Standardmessunsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Einheit
$X_i$	$x_i$	$a$	$P(x_i)$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	
Temperatur	$t_K$	$a_t$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(t) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_t^2}$	$c_t = -2 \cdot \alpha \cdot p$	$u_t = c_t \cdot u(t)$	bar
thermischer Längenausdehnungskoeffizient	$\alpha + \beta$	$a_\alpha$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(\alpha) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_\alpha^2}$	$c_\alpha = -2 \cdot (t - 20^\circ - \lambda \cdot p)$	$u_\alpha = c_\alpha \cdot u(\alpha)$	bar
Fallbeschleunigung	$g$	$a_g$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(g) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_g^2}$	$c_g = \frac{p}{g}$	$u_g = c_g \cdot u(g)$	bar
Deformationskoeffizient	$\lambda$	$a_\lambda$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(\lambda) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_\lambda^2}$	$c_\lambda = -p^2$	$u_\lambda = c_\lambda \cdot u(\lambda)$	bar
$Y$	$y$					$u_{\text{korrl}} = \sqrt{u_t^2 + u_\alpha^2 + u_g^2 + u_\lambda^2}$		bar

<sup>8</sup> s. <sup>3</sup> auf S. 18

<sup>9</sup> s. a. EA-10/03 Annex B

**Hinweis:**

1. In Kalibrierscheinen der PTB für Kolbenmanometer wird der Beitrag der Unsicherheit des Zahlenwertes des Deformationskoeffizienten zur Unsicherheit der Druckmessung bei der Referenztemperatur i. Allg. bereits berücksichtigt.
2. Mit portablen Messgeräten ist es möglich, die lokale Fallbeschleunigung an einem bestimmten Ort mit einer relativen Unsicherheit von wenigen ppm zu messen. Wenn ein so genauer Messwert vorliegt, kann es angesichts der meist wesentlich größeren relativen Unsicherheit des Wertes der Querschnittsfläche zulässig sein, den Unsicherheitsbeitrag der Fallbeschleunigung zu vernachlässigen.
3. Bezogen auf die im Vakuum wirkende Massenkraft  $g \cdot m$  ist die Auftriebskorrektur von der Größenordnung  $1,5 \cdot 10^{-4}$ . Wetterbedingt ändert sich die Luftdichte an einem Ort in der Regel um nicht mehr als 2 % entsprechend einem relativen Beitrag zur Messunsicherheit von 3 ppm. Im Verhältnis zu der üblicherweise in Kalibrierscheinen angegebenen Unsicherheit der Querschnittsfläche von 50 ppm ist dieser Beitrag vernachlässigbar und rechtfertigt i. allg. nicht den messtechnischen Aufwand zu seiner Ermittlung (vergleiche dazu 0. 6 **Umgebungsbedingungen**, Anmerkung).

**Unsicherheitsanalyse**

mit den wesentlichen Einflussgrößen bei der Bestimmung des hydrostatischen Druckes aufgrund einer Höhendifferenz

**Tabelle 10**

Größe	Schätzwert	Halbreite	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Teiler	Standard-Messunsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Einheit
$X_i$	$x_i$	$a$	$P(x_i)$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	
Bestimmung der Dichtedifferenz	$\Delta\rho$	$a_{\rho_{Fl}}$ $a_{\rho_a}$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(\Delta\rho) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (a_{\rho_{Fl}}^2 + a_{\rho_a}^2)}$	$c_{\Delta\rho} = g \cdot h$	$u_{\Delta\rho} = c_{\Delta\rho} \cdot u(\Delta\rho)$	bar
Bestimmung der Fallbeschleunigung	$g$	$a_g$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(g) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_g^2}$	$c_g = \Delta\rho \cdot h$	$u_g = c_g \cdot u(g)$	bar
Bestimmung der Höhendifferenz	$h$	$a_h$	Rechteck	$\sqrt{3}$	$u(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_h^2}$	$c_h = \Delta\rho \cdot g$	$u_h = c_h \cdot u(h)$	bar
$Y$	$y$						$u_{\text{korr2}} = \sqrt{u_{\Delta\rho}^2 + u_g^2 + u_h^2}$	bar

Erweiterte Messunsicherheit ( $k = 2$ ) für die durch ein Kolbenmanometer dargestellten Werte unter Anwendungsbedingungen:

$$U_{\text{Normal,Anw}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{Normal,Ref}}^2 + u_{\text{korr1}}^2 + u_{\text{korr2}}^2} \quad (33)$$

**Hinweis:**

Neben den hier als Beispiel angeführten sind bei Bedarf weitere Korrekturen und damit verbundene Beiträge zur Messunsicherheit zu berücksichtigen, z. B. die Unsicherheit der Restgasdruckmessung bei Absolutdruck-Kolbenmanometern oder die Druckabhängigkeit der Dichte des Druckmediums bei der Messung größerer hydraulischer Drücke.

## Anhang B Beispiel

### Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines Federmanometers

Kalibrieraufwand nach Kalibrierablauf C

Angabe des Mittelwertes ( $Miw$ ) mit Messabweichung ( $\Delta p$ ) und Umkehrspanne ( $h$ )

#### Kalibriergegenstand

Überdruckmessgerät mit elastischem Messglied (Federmanometer)

Genauigkeitsangabe des Herstellers : DIN Kl. 1,0

Skalenteilungswert : 0,5 bar (mit Fünftelschätzung)

#### Normalgerät

Bezeichnung : xxx

Erw. Messunsicherheit :  $1 \cdot 10^{-4} \cdot p$  jedoch nicht kleiner als 0,4 mbar

#### Kalibrierbedingungen

Druckmedium : nachgereinigter Stickstoff

$\rho_{F(20^\circ\text{C}, 1\text{bar})}$  : 1,15 kg/m<sup>3</sup>

$\Delta h$  : (0 m  $\pm$  0,005) m

$t_{\text{amb}}$  : (21,6  $\pm$  1) °C

$p_{\text{amb}}$  : (990  $\pm$  1) mbar

**Tabelle 11:** Ergebnis

Druck $p_{\text{Normal}}$	Ableseung am Kalibriergegenstand $p_{\text{Anzeige}}$		Mittelwert $Miw$ (M1+M2)/2	Messabweichung $\Delta p$ $Miw - p_e$	Umkehrspanne $h$ $ M2 - M1 $	Erweiterte Messunsicherheit $U$
	M1	M2				
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12
12,02	12,1	12,2	12,2	0,2	0,1	0,12
24,03	24,2	24,2	24,2	0,2	0,0	0,12
36,04	36,1	36,2	36,2	0,2	0,1	0,13
48,04	48,1	48,1	48,1	0,1	0,0	0,12
60,05	60,0	60,1	60,1	0,0	0,1	0,13

**Tabelle 12:** Messunsicherheitsbudget für die Belastungsstufe  $p = 60,05$  bar

Größe	Schätzwert	Breite der Verteilung	Teiler	Unsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Varianz
$X_i$	$x_i$	$2a$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	$u^2$
						bar	bar <sup>2</sup>
$p_{\text{Normal}}$	60,05 bar		2	$3,00 \cdot 10^{-3}$ bar	-1	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$9,02 \cdot 10^{-6}$
$p_{\text{Normal},t}$	0,999997	2 K	$\sqrt{3}$	$5,77 \cdot 10^{-1}$ K	$-1,32 \cdot 10^{-3}$ bar/K	$7,63 \cdot 10^{-4}$	$5,82 \cdot 10^{-7}$
$p_{\text{Normal},h}^*$	0	$1,0 \cdot 10^{-2}$ m	$\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-3}$ m	$-6,74 \cdot 10^{-3}$ bar/m	$1,95 \cdot 10^{-5}$	$3,79 \cdot 10^{-10}$
$p_{\text{Anzeige}}$	60,05 bar	0,1 bar	$\sqrt{3}$	$5,77 \cdot 10^{-2}$ bar	1	$5,77 \cdot 10^{-2}$	$3,33 \cdot 10^{-3}$
$\delta p_{\text{Nullpunkt abw.}}$	0	0,0 bar	$\sqrt{3}$	0	1	0	0
$\delta p_{\text{Wiederholpräz.}}$	0	0,0 bar	$\sqrt{3}$	0	1	0	0
$\delta p_{\text{Umkehrspanne}}$	0	0,1 bar	$\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-2}$ bar	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$	$8,33 \cdot 10^{-4}$
$\Delta p$	0,00 bar	$u =$				$6,46 \cdot 10^{-2}$	$\sum u_i^2 = 4,17 \cdot 10^{-3}$
$\Delta p$	0,00 bar	$U = k \cdot u$ ( $k = 2$ )				<b>0,13 bar</b>	

\*Unter Berücksichtigung der druckabhängigen Gasdichte (Näherung)

$$\rho_{p,t} = \rho_{20^\circ\text{C}, 1\text{bar}} \cdot \left[ \frac{p_{\text{abs}} \cdot (T + 20\text{K})}{1\text{bar} \cdot (T + t)} \right] \quad \text{mit } T = 273,15\text{K}$$

Zur Korrektur der vom Normalgerät dargestellten Drücke wurden folgende Daten benutzt (Berechnung nach Anhang A):

$$\begin{aligned}
 t_K &: (21,6 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C} \\
 g &: (9,812533 \pm 0,000020) \cdot 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \\
 \alpha + \beta &: (11 \pm 1,1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}
 \end{aligned}$$

**Anmerkung:**

Die berechnete erweiterte Messunsicherheit für die Belastungsstufe  $p = 60,05$  bar von  $U = 0,13$  bar entspricht einer relativen erweiterten Messunsicherheit von  $W = 0,22\%$ . Nach Kapitel 10.3 Grenzwerte für Messunsicherheitsangaben darf bei einer Kalibrierung nach Ablauf C (Wiederhol- und Vergleichpräzision können nicht ermittelt werden) ein Wert von  $W = 0,30\%$  bei der Angabe im Kalibrierschein nicht unterschritten werden; dies entspricht einer erweiterten Messunsicherheit von  $U = 0,18$  bar.

## Anhang C Beispiel

### Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines digitalen elektrischen Druckmessgerätes

Kalibrieraufwand nach Kalibrierablauf B

Angabe des Mittelwertes ( $Miw$ ) mit Messabweichung ( $\Delta p$ ), Wiederholpräzision ( $b'$ ) und

Umkehrspanne ( $h$ )

Elektrisches Druckmessgerät mit unterdrücktem Nullpunkt

#### Kalibriergegenstand

Elektrisches Druckmessgerät mit unterdrücktem Nullpunkt

Genauigkeitsangabe des Herstellers : 0,03 % vom MW

Auflösung : 0,001 mbar

#### Normalgerät

Bezeichnung : xxx

Erw. Messunsicherheit (Normal) :  $1 \cdot 10^{-4} \cdot p$  aber nicht kleiner als 0,005 mbar

#### Kalibrierbedingungen

Druckmedium : Luft

$\rho_{Fl}(20^\circ\text{C}, 1\text{bar})$  : 1,19 kg/m<sup>3</sup>

$\Delta h$  :  $(0 \pm 0,005)$  m

$t_{\text{amb}}$  :  $(2 \pm 1)$  °C

$p_{\text{amb}}$  :  $(990 \pm 1)$  mbar

**Tabelle 13:** Ergebnis

Druck $p_{\text{Normal}}$	Ablesung am Kalibriergegenstand			Mittelwert $Miw$ $((M1+M3)/(2+M2))/2$	Messabweichung $\Delta p$ $Miw - p_e$	Wiederholpräzision $b'$ $(M3-M1)$	Umkehrspanne $h$ $(M2-M1)$	Erw. Messunsicherheit $U$
	M1	M2	M3					
mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar
50,085	49,850	49,861	49,834	49,852	-0,233	0,016	0,011	0,024
130,191	129,984	130,007	129,967	129,991	-0,200	0,017	0,023	0,029
330,460	330,301	330,335	330,284	330,314	-0,146	0,017	0,034	0,045
530,731	530,616	530,654	530,600	530,631	-0,100	0,016	0,038	0,063
730,990	730,892	730,933	730,879	730,909	-0,081	0,013	0,041	0,082
931,272	931,184	931,226	931,172	931,202	-0,070	0,012	0,042	0,101
1131,138	1131,050	1131,094	1131,046	1131,071	-0,067	0,004	0,044	0,121
1331,413	1331,330	1331,359	1331,337	1331,346	-0,067	0,007	0,029	0,140
1531,673	1531,630	1531,656	1531,629	1531,643	-0,030	0,001	0,026	0,160

**Tabelle 14:** Messunsicherheitsbudget für die Belastungsstufe  $p = 1531,673$  mbar

Größe	Schätzwert	Breite der Verteilung	Teiler	Unsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Varianz
$X_i$	$x_i$	$2a$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	$u^2$
						mbar	mbar <sup>2</sup>
$p_{\text{Normal}}$	1531,673 mbar		2	$7,66 \cdot 10^{-2}$ mbar	-1	$7,66 \cdot 10^{-2}$	$5,87 \cdot 10^{-3}$
$p_{\text{Normal},t}$	0,999997	2 K	$\sqrt{3}$	$5,77 \cdot 10^{-1}$ K	$-3,37 \cdot 10^{-2}$ mbar/K	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$
$p_{\text{Normal,Restgas}}$	0		2	$1,00 \cdot 10^{-2}$ mbar	1	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$
$p_{\text{Normal},t}^*$	0	$1,0 \cdot 10^{-2}$ m	$\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-3}$ m	$-1,78 \cdot 10^{-1}$ mbar/m	$5,14 \cdot 10^{-4}$	$2,64 \cdot 10^{-7}$
$p_{\text{Anzeige}}$	1531,643 mbar	0,001 mbar	$\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mbar	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$8,33 \cdot 10^{-8}$
$\delta p_{\text{Nullpunkt abw.}}$	0	0,000 mbar	$\sqrt{3}$	0	1	0	0
$\delta p_{\text{Wiederholpräz.}}$	0	0,001 mbar	$\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mbar	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$8,33 \cdot 10^{-8}$
$\delta p_{\text{Umkehrspanne}}$	0	0,026 mbar	$\sqrt{3}$	$7,51 \cdot 10^{-3}$ mbar	1	$7,51 \cdot 10^{-3}$	$5,63 \cdot 10^{-5}$
$\Delta p$	-0,030 mbar	$u =$				$8,00 \cdot 10^{-2}$	$\sum u_i^2 = 6,40 \cdot 10^{-3}$
$\Delta p$	-0,030 mbar	$U = k \cdot u$ ( $k = 2$ )				<b>0,160 mbar</b>	

\* Unter Berücksichtigung der druckabhängigen Gasdichte (Näherung)

$$\rho_{p,t} = \rho_{20^\circ\text{C}, 1\text{bar}} \cdot \left[ \frac{p_{\text{abs}} \cdot (T + 20\text{K})}{1\text{bar} \cdot (T + t)} \right] \quad \text{mit } T = 273,15\text{K}$$

Zur Korrektur der vom Normalgerät dargestellten Drücke wurden folgende Daten benutzt (Berechnung nach Anhang A):

$$\begin{aligned}
 t_K &: 21,6 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C} \\
 g &: (9,812533 \pm 0,000020) \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \\
 \alpha + \beta &: (11 \pm 1,1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}
 \end{aligned}$$

**Anmerkung:**

Die berechnete erweiterte Messunsicherheit für die Belastungsstufe  $p = 1531,673$  mbar von  $U = 0,160$  mbar entspricht einer relativen erweiterten Messunsicherheit von  $W = 0,01\%$ . Nach Kapitel 10.3 Grenzwerte für Messunsicherheitsangaben darf bei einer Kalibrierung nach Ablauf B ein Wert von  $W = 0,04\%$  bei der Angabe im Kalibrierschein nicht unterschritten werden; dies entspricht einer erweiterten Messunsicherheit von  $U = \mathbf{0,613}$  mbar.

	Kalibrieren von Druckmessgeräten <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828A1">https://doi.org/10.7795/550.20180828A1</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	38/44

## Anhang D Beispiel

### Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines Druckmessumformers mit elektrischem Ausgang<sup>10</sup>

Kalibrieraufwand nach Kalibrierablauf A mit zweiter Einspannung

Angabe des Mittelwertes ( $Miw$ ) aus Auf- und Abwärtsmessungen, der Wiederholpräzision ( $b'$ ), der Vergleichpräzision ( $b$ ), der Umkehrspanne ( $h$ ), des Übertragungskoeffizienten  $S$  und der Abweichung ( $\Delta S$ )

#### Kalibriergegenstand

Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang

Genauigkeitsangabe des Herstellers : 0,01 % vom EW

#### Normalgerät

Bezeichnung : xxx  
Erw. Messunsicherheit :  $1 \cdot 10^{-4} \cdot p$  aber nicht kleiner als 1 mbar  
im Messtemperaturbereich  
in der Druckbezugsebene des KG  
am Aufstellungsort ( $g = g_{loc}$ )

#### Hilfsmessgerät

Digitalkompensator : xxx  
Erw. Messunsicherheit  $U(A)$  : 0,00005 mV/V  
[ $A$ : Anzeige in mV/V  $\equiv V_{Anzeige}/G \cdot V_{Sp}$  mit  $G = 1$  und  $U(G) = 0$ ]

#### Kalibrierbedingungen

Druckmedium : Weißöl  
 $\rho_{Fl(20^\circ C)}$  :  $(855 \pm 40) \text{ kg/m}^3$  im Messbereich bis 200 bar  
 $\Delta h$  :  $(0 \pm 0,005) \text{ m}$   
 $t_{amb}$  :  $(20 \pm 1)^\circ C$   
 $p_{amb}$  :  $(990 \pm 1) \text{ mbar}$

<sup>10</sup> Im folgenden Beispiel wird die Messunsicherheit nach dem Produkt-/Quotientmodell (Gl. 16) mit bezogenen Werten abgeschätzt. Alternativ kann auch das Summe-/Differenzmodell (Gl. 8) gewählt werden, wenn die Messabweichungen des Ausgangssignals des Druckaufnehmers von den nach der Sollkennlinie berechneten Werten betrachtet werden. Dabei findet man in den Ergebnissen der Messunsicherheitsabschätzungen quantitative Übereinstimmung.

**Tabelle 15:** Messdaten

Druck $p_{\text{Normal}}$	Anzeige					
	M1	M2	$A_{\text{Digitalkompensator}}$			
bar	mV/V	mV/V	M3	M4	M5	M6
	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V
0,000	0,00000	-0,00003	0,00000	0,00002	0,00000	-0,00002
20,010	0,20009	0,20026	0,20019	0,20033	0,20021	0,20032
40,022	0,40026	0,40063	0,40032	0,40067	0,40033	0,40064
60,033	0,60041	0,60094	0,60049	0,60097	0,60049	0,60092
80,045	0,80053	0,80118	0,80062	0,80120	0,80062	0,80110
100,056	1,00063	1,00139	1,00072	1,00135	1,00075	1,00125
120,068	1,20074	1,20149	1,20080	1,20141	1,20082	1,20132
140,079	1,40080	1,40158	1,40089	1,40150	1,40090	1,40133
160,091	1,60082	1,60157	1,60091	1,60148	1,60091	1,60126
180,102	1,80084	1,80148	1,80097	1,80135	1,80091	1,80111
200,113	2,00079	2,00100	2,00088	2,00114	2,00086	2,00087

**Tabelle 16:** Auswertung

Druck $p_{\text{Normal}}$	Ausgangs- signal A: Mit- telwert $M_{iw}$ $\Sigma M_i/6$	Nullpunkt-ab- weichung $f_{0 \text{ rel}}$ $ \text{max} /M_{iw}$	Wiederhol- präzision $b'_{\text{rel}}$ $ \text{max} /M_{iw}$	Vergleich- präzision $b_{\text{rel}}$ $ \text{max} /M_{iw}$	Umkehr- spanne $h_{\text{rel}}$ $(1/3M_{iw})^* \Sigma  h_i $	Relative Messunsich- erheit $W(p_{\text{Normal}})$ *)
bar	mV/V	#	#	#	#	#
0,000	-0,000005	#	#	#	#	#
20,010	0,200233	1,5E-04	5,0E-04	6,0E-04	7,0E-04	1,0E-04
40,022	0,400475	7,5E-05	1,5E-04	1,7E-04	8,6E-04	1,0E-04
60,033	0,600703	5,0E-05	1,3E-04	1,3E-04	8,0E-04	1,0E-04
80,045	0,800875	3,7E-05	1,1E-04	1,1E-04	7,1E-04	1,0E-04
100,056	1,001015	3,0E-05	9,0E-05	1,5E-04	6,3E-04	1,0E-04
120,068	1,201097	2,5E-05	1,1E-04	1,5E-04	5,2E-04	1,0E-04
140,079	1,401167	2,1E-05	9,3E-05	1,9E-04	4,3E-04	1,0E-04
160,091	1,601158	1,9E-05	8,7E-05	2,0E-04	3,5E-04	1,0E-04
180,102	1,801110	1,7E-05	1,0E-04	2,1E-04	2,3E-04	1,0E-04
200,113	2,000923	1,5E-05	4,5E-05	7,0E-05	8,0E-05	1,0E-04

\*) In der Druckbezugsebene des Kalibriergegenstandes

**Tabelle 17:** Ergebnis

Druck $p_{\text{Normal}}$	Übertragungs- koeffizient $S$ $M_{iw}/p$	Abweichung $\Delta S$ $S - S'$	Rel. erw. Mess- unsicherheit $W(S)$ $2[\sum w_i^2(S)]^{0,5}$	Erweiterte Mess- unsicherheit $U(S)$ $W \cdot S$	Abweichungs- spanne $U'(S)$ $U + \Delta S$
bar	(mV/V)/bar	(mV/V)/bar	#	(mV/V)/bar	(mV/V)/bar
0,000	#	#	#	#	#
20,010	0,01000666	0,00000515	6,7E-04	0,00000668	0,00001183
40,022	0,01000637	0,00000486	5,4E-04	0,00000539	0,00001025
60,033	0,01000622	0,00000471	4,9E-04	0,00000493	0,00000964
80,045	0,01000531	0,00000380	4,4E-04	0,00000438	0,00000818
100,056	0,01000455	0,00000304	3,9E-04	0,00000394	0,00000698
120,068	0,01000347	0,00000196	3,3E-04	0,00000335	0,00000531
140,079	0,01000269	0,00000118	3,0E-04	0,00000297	0,00000415
160,091	0,01000155	0,00000004	2,6E-04	0,00000259	0,00000263
180,102	0,01000050	-0,00000101	2,1E-04	0,00000215	0,00000316
200,113	0,00999897	-0,00000254	1,2E-04	0,00000123	0,00000377
<b>Einwertangabe:</b> $S' = 0,01000151$ (mV/V) / bar					

**Tabelle 18:** Messunsicherheitsbudget für die Belastungsstufe  $p = 100,056$  bar

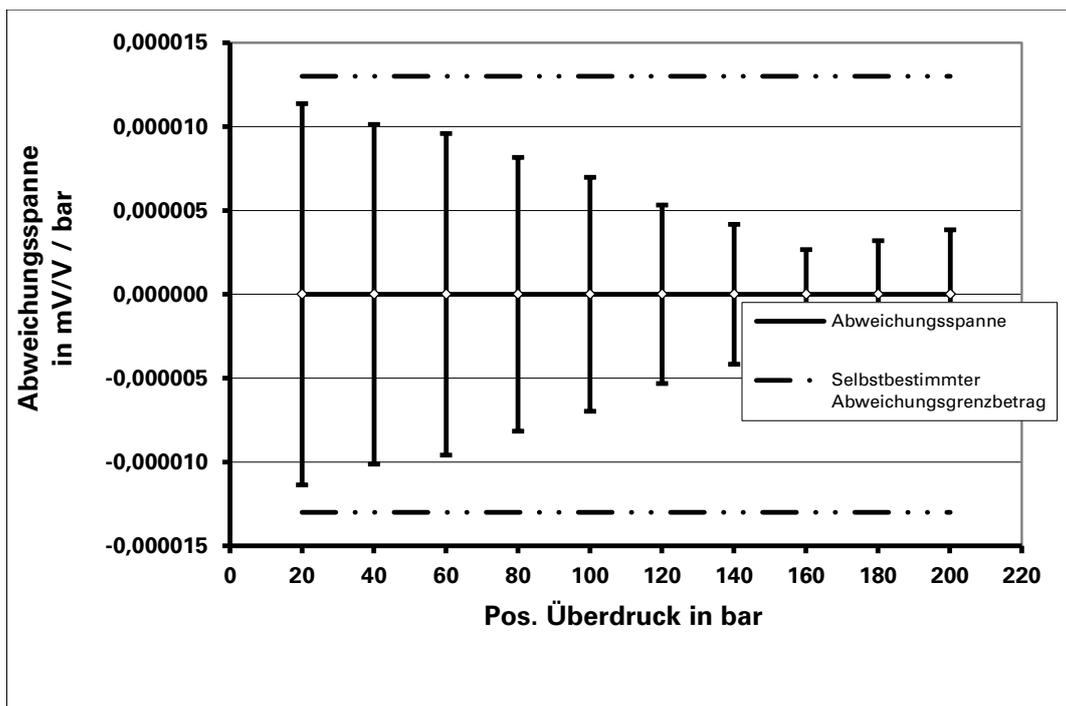
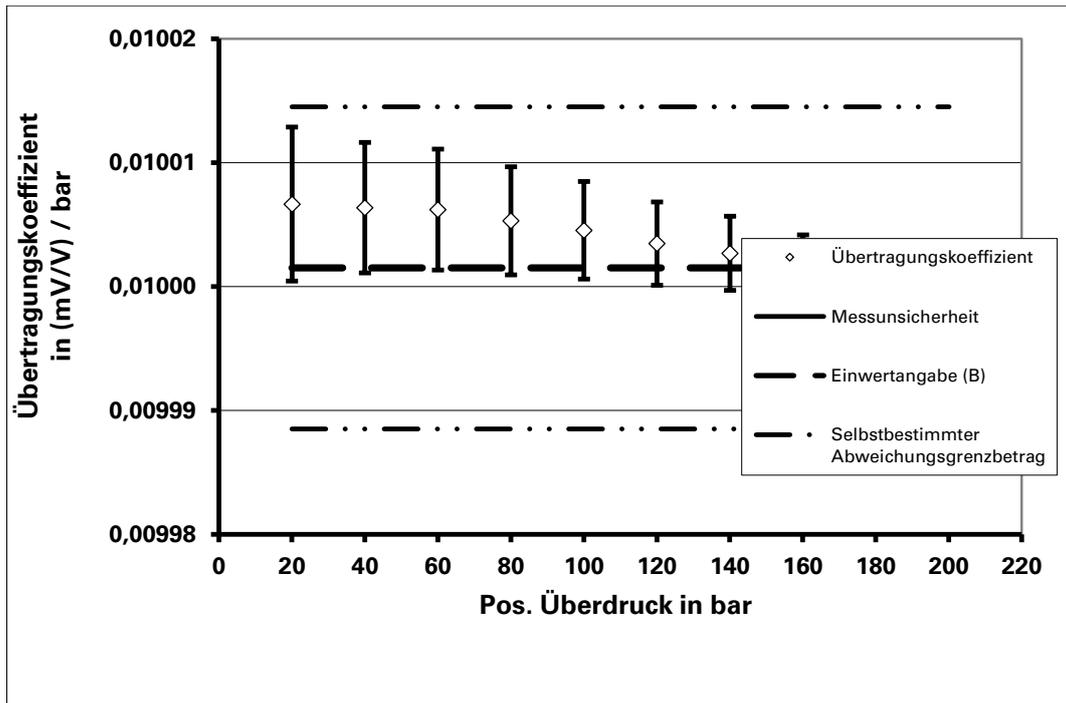
Größe	Schätz- wert	Breite der Verteilung	Teiler	Unsicher- heit	Sensi- tivitäts- koeffizient	Unsicher- heits- beitrag	Varianz
$X_i$	$x_i$	$2a$		$w(x_i)$	$c_i$	$w_i(y)$	$w_i^2$
$p_{\text{Normal}}$	100,056 bar	20 mbar	2	$5,00 \cdot 10^{-5}$	-1	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-9}$
$V_{\text{Anzeige}}$	1,001015 mV/V	0,00010 mV/V	2	$2,50 \cdot 10^{-5}$	1	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$6,25 \cdot 10^{-10}$
$K_{\text{Nullpunkt abw.}}$	1	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$\sqrt{3}$	$8,66 \cdot 10^{-6}$	1	$8,66 \cdot 10^{-6}$	$7,50 \cdot 10^{-11}$
$K_{\text{Wiederholpräz.}}$	1	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$\sqrt{3}$	$2,60 \cdot 10^{-5}$	1	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$6,76 \cdot 10^{-10}$
$K_{\text{Vergleichpräz.}}$	1	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$4,33 \cdot 10^{-5}$	1	$4,33 \cdot 10^{-5}$	$1,87 \cdot 10^{-9}$
$K_{\text{Umkehrspanne}}$	1	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$	1	$1,82 \cdot 10^{-4}$	$3,31 \cdot 10^{-8}$
$S$	$\frac{0,0100045}{5}$	$w =$				$1,97 \cdot 10^{-4}$	$\sum w_i^2 = 3,88 \cdot 10^{-8}$
$S$	$\frac{0,0100045}{5}$	$W = k \cdot w \quad (k = 2)$				<b><math>3,9 \cdot 10^{-4}</math></b>	

Die Druckabhängigkeit der Öldichte wurde vernachlässigt.

Bei der Belastungsstufe  $p = 100,056$  bar berechnet sich die erweiterte Unsicherheit der Messung des Übertragungskoeffizienten wie folgt:

$$U(S)|_{100 \text{ bar}} = W \cdot S = 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,01000455 \text{ (mV/V) / bar} = 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot \text{(mV/V) / bar}$$

Der selbstbestimmte Abweichungsgrenzbetrag beträgt z. B.  $\pm 0,13$  % vom Übertragungskoeffizienten



## Anhang E (informativ) Messunsicherheiten von Bezugs- und Gebrauchsnormalen

**Tabelle 19:** Typische Messunsicherheiten, die den Werten der Bezugsnormale beigeordnet werden können.

Druckskala	typischer Wert der erweiterten Messunsicherheit $U$ bezogen auf den Messwert
10 <sup>-9</sup> mbar ... 10 <sup>-6</sup> mbar	10% ... 6%
10 <sup>-6</sup> mbar ... 10 <sup>-2</sup> mbar	4% ... 1 %
10 <sup>-2</sup> mbar ... 10 mbar	0,5% ... 0,3%
10 mbar ... 50 mbar	0,03%
50 mbar ... 1 bar	0,01%
1 bar ... 700 bar	0,008%
700 bar ... 2000 bar	0,012%
2000 bar ... 10000 bar	0,07%

**Tabelle 20:** Typische Messunsicherheiten, die den Werten der Gebrauchsnormale beigeordnet werden können.

Gebrauchsnormal	typischer Wert der erweiterten Messunsicherheit $U$ bezogen auf die Messspanne
Schwingquarzsensoren, Quarzwendelmanometer	0,01%
Piezoresistive Druckmessumformer	0,03%
Dünnschicht-DMU, Dehnungsmessstreifen (DMS)	0,05%
Kapazitive DMU, Federanometer Kl. 0,1	0,10%

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	43/44

## Anhang F Gültigkeitsdauer (Empfehlung)

Für die Festlegung und Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich. Unter üblichen Verwendungsbedingungen werden folgende Rekalibrierfristen empfohlen:

<b>Kolbenmanometer</b>	<b>5 Jahre</b>
<b>Federmanometer Klasse &gt;0,6</b>	<b>2 Jahre</b>
<b>elektrische Druckmessgeräte &gt; 0,5% d. Messspanne</b>	<b>2 Jahre</b>
<b>Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang &gt; 0,5% d. Messspanne</b>	<b>2 Jahre</b>
<b>Federmanometer Klasse ≤ 0,6</b>	<b>1 Jahr</b>
<b>elektrische Druckmessgeräte ≤ 0,5% d. Messspanne</b>	<b>1 Jahr</b>
<b>Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang ≤ 0,5% d. Messspanne</b>	<b>1 Jahr</b>

Der Kalibriergegenstand ist unabhängig von diesen Fristen unter anderem dann zu rekalibrieren, wenn er einer Überlastung ausgesetzt wurde, die außerhalb seiner Überlastgrenze lag, nachdem eine Instandsetzung des Gerätes stattgefunden hat, nach einer unsachgemäßen Handhabung, die Einfluss auf die Messunsicherheit haben kann, oder wenn sonstige Gründe dafür sprechen.

	<b>Kalibrieren von Druckmessgeräten</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AI">https://doi.org/10.7795/550.20180828AI</a>	DKD-R 6-1	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	44/44

## Literaturhinweise

### DIN:

*Internationales Wörterbuch der Metrologie*

2. Auflage 1994, Beuth-Verlag, ISBN 3-410-13086-1

### DIN 1319-1:

*Grundlagen der Meßtechnik, Teil 1: Grundbegriffe*, 1996

### DIN 1319-2:

*Grundlagen der Meßtechnik, Teil 2: Begriffe für die Anwendung von Meßgeräten*, 1999

### DAkKS-DKD-5:

*Anleitung zum Erstellen eines Kalibrierscheins*

DAkKS, Neuauflage 2010

## Grundlage der Messunsicherheitsbetrachtung sind folgende Dokumente:

### ISO:

*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*

1<sup>st</sup> Edition 1993, ISO, Genève, CH, ISBN 92-67-10188-9

### DIN V ENV 13005

*Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

Deutsche Fassung ENV 13005:1999

### EA-4/02:

*Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*

December 1999

### EA-10/03:

*Calibration of Pressure Balances, Annex B*

Edition 1, July 1997

### DAkKS-DKD-3:

*Angabe der Messunsicherheiten bei Kalibrierungen*

DAkKS 2010, Deutsche Fassung der Publikation EA-4/02: „*Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*“

### DAkKS-DKD-3-E1: Ergänzung 1

*Angabe der Messunsicherheiten bei Kalibrierungen, Beispiele*

DAkKS 2010, Deutsche Fassung der Publikation EA-4/02-S1: *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Examples*

### DIN 1319-3:

*Grundlagen der Meßtechnik, Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße, Meßunsicherheit*, 1996

### DIN 1319-4:

*Grundlagen der Meßtechnik, Teil 4: Auswertung von Messungen, Meßunsicherheit*, 1999