

Physikalisch- Technische Bundesanstalt




**Leitfaden
DKD-L 13-2**

**Validierung von
Messunsicherheitsbilanzen**

Ausgabe 10/2020

<https://doi.org/10.7795/550.20201009A>



	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	2 / 29

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)


DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: 0531 592-8021

Internet: www.dkd.eu

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	3 / 29

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

*Leitfaden DKD-L 13-2 Validierung von Messunsicherheitsbilanzen, Ausgabe 10/2020, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.
DOI: 10.7795/550.20201009A*

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:

- Bernd Pesch, Kalibrierzentrum der Bundeswehr, Mechnich
- Philip Fleischmann, esz AG calibration & metrology, Eichenau
- Dr. Stephan Mieke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Berlin
- Dr. Rudolf Frieling, Helmstedt
- Nadine Schiering, Zentrum für Messen und Kalibrieren & ANALYTIK GmbH, Bitterfeld-Wolfen
- Dr.-Ing. Olaf Schnelle-Werner, Zentrum für Messen und Kalibrieren & ANALYTIK GmbH, Bitterfeld-Wolfen
- Horst Rötteken, Göttingen
- Dr. Bernd Schumacher, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig
- Sven Friederici, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Berlin
- Dr. Torsten Augustin, Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS), Berlin
- Dr. Burkhard Peil, Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS), Frankfurt
- Dr. Werner Jordan, München
- Dr. Barbara Werner, Zentrum für Messen und Kalibrieren & ANALYTIK GmbH, Bitterfeld-Wolfen

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

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck und Geltungsbereich	5
2	Symbolliste, Bezeichnungen und Abkürzungen	6
3	Allgemeiner Teil	9
3.1	Übersicht über die Kriterien der Validierung	9
3.2	Grundlagen	11
3.3	Normative Grundlagen	12
3.4	Bearbeitungshinweise	12
3.5	Beispiel: Frage zum allgemeinen Teil (Dokumentenkopf)	13
4	Checkliste zur Validierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit	14
4.1	Formale Prüfungen	14
4.2	Messgröße	15
4.3	Messprozess	15
4.4	Messmittel	16
4.5	Modellbildung	17
4.6	Empfindlichkeitskoeffizienten	18
4.7	Messunsicherheitsanalyse	18
4.8	Korrelationen	20
4.9	Bildung der Messunsicherheitsbilanz	20
4.10	Prüfung des effektiven Freiheitsgrades	21
4.11	Darstellung von Ergebnissen	21
5	Checkliste zur Validierung der Messunsicherheit einer tatsächlichen Messung (weitere Anforderungen)	22
5.1	Formale Prüfungen	22
5.2	Messgröße	22
5.3	Messprozess	23
5.4	Messmittel	23
5.5	Modellbildung	23
5.6	Empfindlichkeitskoeffizienten	23
5.7	Messunsicherheitsanalyse	23
5.8	Korrelationen	24
5.9	Bildung der Messunsicherheitsbilanz	24
5.10	Prüfung des effektiven Freiheitsgrades	24
5.11	Nachweisführung zur angegebenen Messunsicherheit	25
6	Anhang	26
6.1	Literaturverzeichnis	26
6.2	Index	27

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	5 / 29

Vorwort

DKD-Leitfäden stellen Empfehlungen zu technischen Fragestellungen dar, die sich im Zusammenhang mit der praktischen Arbeit von akkreditierten Kalibrierlaboratorien ergeben. In den Leitfäden werden Vorgehensweisen beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen können. DKD-Leitfäden können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Anwendung der Leitfäden kann der Stand der Technik auf dem jeweiligen Gebiet in die Laborpraxis Eingang finden. Dies soll einer Vereinheitlichung der Verfahren und einer effizienteren Arbeit in den Kalibrierlaboratorien dienen.

Die DKD-Leitfäden sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Leitfäden bzw. neue Vorgehensweisen sind möglich, wenn fachliche Gründe dafür sprechen.

Der vorliegende Leitfaden wurde im Rahmen des Fachausschusses *Messunsicherheit* erstellt und vom Vorstand des DKD genehmigt.

1 Zweck und Geltungsbereich

Dieser Leitfaden ist ein Werkzeug zur Validierung von ermittelten Messunsicherheiten.


Berücksichtigt wird die Ermittlung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit, sowie die Darstellung der einer tatsächlichen Messung beigeordneten Messunsicherheit, wie diese in Prüf- oder Kalibrierscheinen anzugeben ist.

Der Leitfaden richtet sich an Kalibrier- und Prüflaboratorien und Ersteller von Messunsicherheitsdokumentationen (Managementdokumenten). Er zeigt auf, welche Informationen zu erbringen sein sollten, wenn Messunsicherheiten ermittelt werden. Anwendungsspezifische Besonderheiten, die über allgemeine metrologische Forderungen hinausgehen oder hiervon abweichen, werden im Rahmen der Checkliste beispielhaft angesprochen.

Der Leitfaden wurde in Form einer Checkliste entwickelt, um an Hand der Fragestellungen eine Möglichkeit zum umfassenden Hinterfragen der verfügbaren Informationen an die Hand zu geben.

Eine elementare Forderung aller QM-Systeme ist, dass Verfahren, qualitätsrelevante Dokumente, Arbeitshilfen und Software vor der Freigabe und Anwendung zu validieren sind. Validierungen sind zu dokumentieren. Die in diesem Leitfaden enthaltene Checkliste kann ein solcher Validierungsnachweis für Messunsicherheiten sein.

Sofern ein Laboratorium mehrere Messgrößen bearbeitet, sollte für jede Messgröße eine eigene Checkliste gemäß diesem Leitfaden vorhanden sein.

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	6 / 29

2 **Symbolliste, Bezeichnungen und Abkürzungen**

Messtechnische Symbole und Formelzeichen	
Symbol, Bezeichnung oder Abkürzung	Definition
Ausgangsgröße	Ergebnis einer Messunsicherheitsbilanz oder einer Berechnung (eines Ergebnisses).
c_i	Empfindlichkeitskoeffizient, in der Regel dargestellt mit Bezugsgröße. In vielen Fällen ist c_i ein dimensionsloser Multiplikator. Es sind aber prinzipiell auch physikalische Einheiten möglich.
DAkKS	Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
Effektiver Freiheitsgrad	<p>Formelzeichen ν_{eff} (griech: „ny“). Allgemein beschreibt die t-Verteilung selbst dann nicht die Verteilung der Variable $(y - Y)/u_c(y)$, wenn $u_c^2(y)$ die Summe von zwei oder mehr Varianzen und x_i der Schätzwert einer Normalverteilung von X_i ist. Aber immerhin ist es möglich, die Verteilung mit einem effektiven Freiheitsgrad zu schätzen, der nach der Formel von Welch-Satterthwaite beschrieben wird:</p> $\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y_i)}{\nu_i}}$ <p>Mit n für die Anzahl der berücksichtigten Unsicherheitsbeiträge, u_i für den jeweiligen Unsicherheitsbeitrag in der Messunsicherheitsbilanz, ν_i für den Freiheitsgrad des jeweiligen Unsicherheitsbeitrags, u (ohne Index) für die berechnete Messunsicherheit des Ergebnisses, ohne Erweiterungsfaktor.</p> <p style="text-align: right;">→ JCGM 100:2008, [1], Abschnitt G.4</p>
Einflussgröße	<p>Größe, welche nicht die Messgröße ist, aber das Ergebnis einer Messung beeinflusst und deren Wert man nicht genau angeben kann.</p> <p style="text-align: right;">→ JCGM 100:2008, [1], Pkt. B.2.10 → VIM3, [2], Pkt. 2.52</p>

Symbol, Bezeichnung oder Abkürzung	Definition
Empfindlichkeits- koeffizient	<p>Die Empfindlichkeitskoeffizienten stellen dar, mit welcher Empfindlichkeit (=Sensitivität) das Ergebnis einer Messung von einer Einflussgröße abhängig sein wird. Sie ergeben sich aus der Modellgleichung durch partielle Ableitung nach den jeweiligen Einflussgrößen. Der Empfindlichkeitskoeffizient ist wie folgt zu bestimmen:</p> $c_i = \frac{\partial f(x)}{\partial x_i}$ <p>Mit: c_i als Empfindlichkeitskoeffizient der Einflussgröße x_i In der deutschen Übersetzung von EA-4/02 M: 2013 [3] wird der „Empfindlichkeitskoeffizient“ als „Sensitivitätskoeffizient“ bezeichnet.</p>
Erweiterungsfaktor	<p>Formelzeichen k. Faktor, mit dem die kombinierte Standardunsicherheit multipliziert wird, um eine erweiterte Messunsicherheit zu erhalten.</p> <p style="text-align: right;">→ Nach JCGM 100:2008 [1], Pkt. 2.3.6</p>
k	→ Erweiterungsfaktor.
Kleinste angebbare Messunsicherheit	<p>Kleinste Messunsicherheit, die ein Laboratorium für eine spezifische Größe unter idealen Messbedingungen im Rahmen seiner Akkreditierung erreichen kann.</p> <p style="text-align: right;">→ EA-4/02 M: 2013 (Deutsche Übersetzung) [3], Anhang B, B2</p>
MCS	Monte-Carlo-Simulation
Messunsicherheits- beitrag	Numerischer Anteil, den ein Messunsicherheitseinfluss im Rahmen der Messunsicherheitsbilanz auf ein Messergebnis hat.
Messunsicherheits- bilanz	<p>Angabe einer Messunsicherheit, der Komponenten dieser Messunsicherheit und ihrer Berechnung und Kombination.</p> <p>Anmerkung: Eine Messunsicherheitsbilanz sollte das Modell der Messung, Schätzwerte, Messunsicherheiten der Größen im Modell der Messung, Kovarianzen, Art der angewandten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen, Freiheitsgrade, Art der Ermittlung der Messunsicherheit sowie einen Erweiterungsfaktor enthalten.</p> <p style="text-align: right;">→ VIM, 3. Auflage, Abschn. 2.33</p>
Messunsicherheits- budget	Ersetzt durch → Messunsicherheitsbilanz
Messunsicher- heitseinfluss	Ein Einfluss, welcher mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit eine Messabweichung verursacht.
n/a	Die Abkürzung wird in zwei verschiedenen Bedeutungen verwendet: „not applicable“ = „nicht anwendbar“ oder „not available“ = „nicht verfügbar“

Symbol, Bezeichnung oder Abkürzung	Definition
PDF	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion. Der mathematische Begriff für die Verteilung der möglichen Werte der durch diese Funktion charakterisierten Größe, z. B. des Messergebnisses.
u $u(x_i)$	Formelzeichen für die dem Schätzwert x_i der Messgröße (Einflussgröße) beigeordnete Standardmessunsicherheit (auch: Standardunsicherheit). In der gleichen physikalischen Einheit wie die Messgröße.
U $U(y)$ $U_{0,95}$	Formelzeichen für die erweiterte Messunsicherheit, welche dem Schätzwert y der Messgröße, dem Ergebnis, beigeordnet ist. Das Formelzeichen der erweiterten Messunsicherheit kann mit einem Index versehen werden, der die Überdeckungswahrscheinlichkeit (hier 0,95 für 95 %) wiedergibt.
Validierung	Die Prüfung des Verfahrens zur Ermittlung einer Messunsicherheit wurde in Anlehnung an den Begriff der „Validierung“ nach JCGM 200:2012 (VIM) [2], Pkt. 2.45 definiert. Demnach ist die Validierung eine Verifizierung, bei der ein Sachverhalt in Hinblick auf einen beabsichtigten Gebrauch überprüft wird. → JCGM 200:2012 (VIM) [2], Pkt. 2.45
w $w(x_i)$	Formelzeichen für die relative Standardunsicherheit, die dem Schätzwert x_i der Messgröße (Einflussgröße) beigeordnet ist.
W $W(y)$ $W_{0,95}$	Formelzeichen für die relative erweiterte Messunsicherheit, welche dem Schätzwert y der Messgröße beigeordnet ist. Das Formelzeichen der erweiterten Messunsicherheit kann einen Index enthalten, der die Überdeckungswahrscheinlichkeit (hier 0,95 für 95 %) angibt.


Tabelle 1: Messtechnische Symbole und Formelzeichen

3 Allgemeiner Teil

3.1 Übersicht über die Kriterien der Validierung


3.1.1 Kriterien zur kleinsten angebbaren Messunsicherheit

4.1.1	Bezeichnung und Identifikation eines Dokumentes zur Berechnung der Messunsicherheit	14
4.1.2	Verwendete Bezeichnungen	14
4.1.3	Abkürzungen	15
4.1.4	Formelzeichen.....	15
4.2.1	Definition der Messgröße	15
4.3.1	Beschreibung des Messprozesses	15
4.3.2	Vorgaben an den Messprozess	16
4.3.3	Einschränkungen des Messprozesses	16
4.3.4	Prozessgleichung.....	16
4.4.1	Anforderungen an Messmittel und -einrichtungen	16
4.4.2	Messtechnische Rückführung (metrologische Rückführbarkeit)	16
4.4.3	Messmittel zur Überwachung von Mess- oder Umgebungsbedingungen	17
4.4.4	Validierung eingesetzter Software	17
4.4.5	Darstellung der Messanordnung.....	17
4.5.1	Modellgleichung	17
4.5.2	Linearisierung des Modells	17
4.5.3	Trennung der Einflussgrößen	18
4.5.4	Voraussetzung zur Anwendung von Untermodellen.....	18
4.6.1	Ermittlung der Empfindlichkeitskoeffizienten	18
4.7.1	Relevante Einflüsse	18
4.7.2	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion.....	19
4.7.3	Annahmen zu Einflussgrößen.....	19
4.7.4	Eigenschaften des Prüflings	19
4.7.5	Externe Bewertungen	19
4.7.6	Umrechnungsfaktoren und Konstanten	19
4.8.1	Feststellung von Korrelationen	20
4.9.1	Einheitenrichtige Beiträge	20
4.9.2	Tabellarische Form zur Messunsicherheitsbilanz.....	20
4.9.3	Verwendung der Einheiten.....	20
4.10.1	Prüfung des effektiven Freiheitsgrades	21
4.11.1	Ergebnisdarstellung	21
4.11.2	Größengleichungen statt Zahlenwertgleichungen	21

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	10 / 29

3.1.2 Zusätzliche Kriterien zur Messunsicherheit einer tatsächlichen Messung

5.1.1	Bezeichnung und Identifikation	22
5.3.1	Überschreitungen von Grenzwerten	23
5.4.1	Anforderungen an Messmittel und -einrichtungen	23
5.11.1	Vollständige Ergebnisdarstellung.....	25
5.11.2	Verweis auf die Berechnungsgrundlage	25
5.11.3	Aufzeichnung von Ablesungen	25
5.11.4	Validierte Berechnungen.....	25
5.11.5	Bezug zur kleinsten angebbaren Messunsicherheit	26

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	11 / 29

3.2 Grundlagen

3.2.1 Zielsetzungen

Es werden folgende Zielsetzungen bei der Ermittlung der Messunsicherheit unterschieden:

- **Kleinste angebbare Messunsicherheit:** Sie orientiert sich an den Forderungen, wie sie zum Beispiel im Rahmen von Akkreditierungen als Nachweis der Kompetenz von Kalibrier- oder Prüflaboratorien zu erfüllen sind. Hier stellt das Laboratorium dar, welche Messunsicherheit es erreicht, wenn es unter optimalen Bedingungen real existierende, beste Messgeräte unter Anwendung seiner gängigen Verfahren routinemäßig kalibriert¹.
→EA-4/02 M: 2013 (Deutsche Übersetzung) [3], Anhang A

Die Dokumentation des Laboratoriums zur Messunsicherheit muss vorhanden sein und für Außenstehende umfänglich nachvollziehbar sein.


Anzuwenden ist die Checkliste → Abschnitt 4, „Checkliste zur Validierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit“, Seite 14

- **Die einem tatsächlichen Messwert beigeordnete Messunsicherheit:** Diese Größe beschreibt die im Rahmen von praktischen Messungen zu ermittelnde Messunsicherheit, wie sie auf Kalibrier- oder Prüfscheinen angegeben wird.
 - Die Ermittlung der Messunsicherheit muss aus hinterlegten Aufzeichnungen zum Messwert – bei Bedarf – nachvollziehbar sein. Die Berechnungsmethoden sind an geeigneter Stelle, wie in einer Verfahrens- oder Prozessbeschreibung zu dokumentieren.
 - Es wird davon ausgegangen, dass zur Messgröße bereits eine kleinste angebbare Messunsicherheit bestimmt wurde, oder eine vergleichbare Betrachtung vorliegt und für die Darstellung einer tatsächlichen Messunsicherheit nur noch Anpassungen an die aktuelle Messung notwendig sind.
Auch müssen die berücksichtigten Einflussgrößen praxisgerecht, zum Beispiel in Messprotokollen oder Messwertdateien oder Beschreibungen des Messaufbaus, dokumentiert sein.
→ DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.5.1
- Anzuwenden ist die Checkliste → Abschnitt 5, Seite 22.

3.2.2 Ermittlungsmethoden

Des Weiteren sind die verschiedenen Ermittlungsmethoden zu berücksichtigen, nach denen man die Messunsicherheit bestimmen kann, als da beispielhaft wären:

¹ Dies schließt nicht aus, dass ein Laboratorium durch Anwendung anderer Verfahren geringere Unsicherheiten erreichen kann. Da diese Dienstleistung nicht routinemäßig einem Kunden zur Verfügung gestellt werden kann, werden diese Leistungen **nicht** durch die Definition der kleinsten angebbaren Messunsicherheit abgedeckt.

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	12 / 29

- GUM Framework, nach JCGM 100:2008 [1]
- Vektor/Matrix-Form für mehrdimensionale Ausgangsgrößen, wie im JCGM 102:2009 [5] dargestellt
- Monte-Carlo-Simulation (MCS) nach JCGM 101:2008 [6]
- Vergleichsuntersuchungen mit anderen Messmitteln und Transfer auf die hier zu betrachtende Messaufgabe

Die Fragestellungen der Checkliste sind allgemein gehalten, damit diese, soweit möglich, unabhängig vom angewendeten Verfahren nutzbar ist. Spezifische Forderungen, die von allgemeinen metrologischen Forderungen abweichen, werden in rechteckigen Klammern [...] dargestellt.

3.2.3 Verbindlichkeit

Die Checkliste ist unverbindlich. Sie ist eine Empfehlung. Diverse Inhalte sind jedoch elementar für die Nachprüfbarkeit der Messunsicherheit und sollten vorhanden sein. Strebt ein Laboratorium eine Akkreditierung durch die DAkkS² an, wird die Erfüllung dieser Punkte in der Regel vorausgesetzt.

3.3 Normative Grundlagen

3.3.1 Validierung

Die Prüfung des Verfahrens zur Ermittlung einer Messunsicherheit wurde in Anlehnung an den Begriff der „Validierung“ nach JCGM 200:2012 (VIM) [2], Pkt. 2.45 definiert³.

→ JCGM 200:2012 (VIM) [2], Pkt. 2.45

→ DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.2

Diese Checkliste führt auch Querverweise zu Normen auf, die nicht unbedingt Grundlage einer Akkreditierung, aber hilfreich bei der Formulierung von entsprechenden Punkten, sind⁴. Die hier vorliegende Checkliste kann ein Validierungsnachweis für Messunsicherheiten sein.

→ DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.2

→ DIN EN ISO 9001:2015 [7], Pkt. 8.3.4.d


3.4 Bearbeitungshinweise

Die Checkliste hat immer nur für eine Messgröße Gültigkeit. Sollten mehrere Messgrößen betrachtet werden, empfiehlt sich eine individuelle Bewertung je Messgröße.




² DAkkS: Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

³ Demnach ist die Validierung eine Verifizierung, bei der ein Sachverhalt in Hinblick auf einen beabsichtigten Gebrauch überprüft wird.

⁴ Beispiel: So werden Bezüge zur „QM-Norm“ DIN EN ISO 9001:2008 genutzt, auch wenn ein Laboratorium nicht nach dieser Norm zertifiziert ist.

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	13 / 29

3.5 Beispiel: Frage zum allgemeinen Teil (Dokumentenkopf)




Das Dokument mit der Darstellung der Messunsicherheit muss eindeutig identifizierbar sein. → DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.11, 8.3 → DIN EN ISO 9001 [7], Pkt. 4.2.3				
Bezeichnung des Dokuments	Anlage MU zur Arbeitsanweisung AW-02/22, rev. 2.2			
Bezeichnung der Messgröße	Rechtwinkligkeit an Maßverkörperungen			
Version	2.2			
Freigabedatum	1.9.2008			
Ersteller (Name)	Meier, Labor			
Freigabe (Name)	Schmitt, Laborleiter			
Bewertung	Alle notwendigen Informationen vorhanden.			

- „Kriterium erfüllt“ (☺) ist zu wählen, sofern der Erfüllungsgrad des Kriteriums keine Nachbesserung erforderlich macht. Es muss nicht zwingend eine 100%-Erfüllung sein, jedoch sind die wesentlichen Aspekte hinreichend erfüllt.
- „Kriterium teilweise erfüllt“ (☹) bedeutet, dass im Wesentlichen eine Umsetzung des Kriteriums vorliegt, jedoch Verbesserungspotential zu erkennen ist.
- „Kriterium nicht erfüllt“ (☹) zeigt auf, dass hier keine Übereinstimmung mit dem Kriterium besteht.
- Trifft ein Punkt nicht zu, kann unter „Bewertung“ „nicht zutreffend“ oder „n/a“ eingetragen werden.
- Werden Nacharbeiten empfohlen, kann unter „Bewertung“ eine entsprechende Empfehlung ausgesprochen werden.




4 Checkliste zur Validierung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit


4.1 Formale Prüfungen

4.1.1 Bezeichnung und Identifikation eines Dokumentes zur Berechnung der Messunsicherheit




<p>Sofern die Dokumentation der Messunsicherheitsermittlung in einem eigenen Dokument geführt wird, muss dieses eindeutig identifizierbar sein.</p> <p style="text-align: right;">→ DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.11, 8.3 → DIN EN ISO 9001 [7], Pkt. A.6</p>				
Bezeichnung des Dokuments				
Bezeichnung der Messgröße				
Version				
Freigabedatum				
Ersteller (Name)				
Freigabe (Name)				
Bewertung				

4.1.2 Verwendete Bezeichnungen




<p>Die im Dokument verwendeten Bezeichnungen müssen eindeutig sein und dürfen normativ geregelten Bezeichnungen nicht widersprechen.</p>				
Bewertung				

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	15 / 29

4.1.3 Abkürzungen




Alle verwendeten (messtechnischen) Abkürzungen müssen in einem QM-überwachten Dokument definiert und einfach aufzufinden sein.				
Bewertung				

4.1.4 Formelzeichen

Physikalische Größen werden durch Formelzeichen dargestellt. Diese müssen eindeutig sein. Bei selbsterklärenden oder im Text erklärten Formelzeichen ⁵ entfällt die Notwendigkeit der Definition. → Tabelle 1, „Messtechnische Symbole und Formelzeichen“, Seite 6				
Bewertung				




4.2 Messgröße

4.2.1 Definition der Messgröße

Die Messgröße muss eindeutig definiert sein.				
Bewertung				




4.3 Messprozess

4.3.1 Beschreibung des Messprozesses




Der Messprozess und das –verfahren müssen nachvollziehbar beschrieben sein.				
Bewertung				

⁵ Formelzeichen sind selbsterklärend, wenn direkt und zweifelsfrei erkennbar ist, welche Größe gemeint ist. Gegebenenfalls ist die Eindeutigkeit über den Kontext gegeben. Beispiel: „Es wird ein Zeitintervall von $t = 10 \text{ s}$ abgelesen“. In diesem Beispiel ist t direkt einem Zeitintervall zugeordnet und somit eindeutig definiert.




4.3.2 Vorgaben an den Messprozess

Relevante Vorgaben, unter denen eine Messung durchzuführen ist, sind festzulegen und zu dokumentieren. Vorgaben können – beispielsweise – vom Auftraggeber kommen, oder vom Laboratorium selbst erstellt werden.				
Bewertung				

4.3.3 Einschränkungen des Messprozesses




Grenzwerte, die im Rahmen der Messung einzuhalten sind, damit die ermittelte Messunsicherheit gültig ist, müssen an geeigneter Stelle festgelegt sein.				
Bewertung				

4.3.4 Prozessgleichung




Der Messprozess sollte vor Aufstellung der Modellgleichung hinsichtlich seiner physikalischen Zusammenhänge durchdacht und beschrieben werden. Dies sollte in mathematischer Form als Prozessgleichung ⁶ erfolgen.				
Bewertung				

4.4 Messmittel


4.4.1 Anforderungen an Messmittel und -einrichtungen

Die für die Messung eingeplanten Normale, Messmittel und Hilfsmittel müssen eindeutig beschrieben werden.				
Bewertung				




4.4.2 Messtechnische Rückführung (metrologische Rückführbarkeit)

Die Rückführung aller verwendeten Messmittel und Hilfsmittel muss an geeigneter Stelle dokumentiert werden, sofern bei diesen von einem Einfluss auf die Messgröße oder die Messunsicherheit auszugehen ist.				
Bewertung				




⁶ Die Verwendung einer Prozessgleichung wird in JCGM 100:2008 nicht dargestellt. Sie beschreibt mathematisch den Messprozess. Ihre Aufstellung wird zur Vorbereitung der Modellgleichung empfohlen.

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2		
		Ausgabe	10/2020	
		Revision:	0	
		Seite:	17 / 29	




4.4.3 Messmittel zur Überwachung von Mess- oder Umgebungsbedingungen

An (sekundäre) Messmittel, die zur Überwachung von Mess- oder Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, sind die gleichen Bedingungen zu stellen, wie unter 4.4.1 und 4.4.2 gefordert.				
Bewertung				

4.4.4 Validierung eingesetzter Software




Software, die im Rahmen der Ermittlung der Messgröße oder der Messunsicherheit eingesetzt wird, muss validiert sein. → „Validierung“ in Tabelle 1, „Messtechnische Symbole und Formelzeichen“, Seite 6 → DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.2.1, Pkt. 7.2.2				
Bewertung				

4.4.5 Darstellung der Messanordnung




Eine eindeutige Darstellung der Messanordnung in bildlicher, grafischer oder Schriftform muss vorhanden sein.				
Bewertung				

4.5 Modellbildung




4.5.1 Modellgleichung

Eine Modellgleichung (Modellfunktion, Modell der Messung) muss aufgestellt werden. Sie enthält neben den Bestandteilen der Prozessgleichung alle bekannten Einflussgrößen.				
Bewertung				




4.5.2 Linearisierung des Modells

Die Modellgleichung muss hinreichend linear und zumindest am Messpunkt stetig differenzierbar sein. Sollte die Modellgleichung nicht linear sein, muss dem durch geeignete mathematische Verfahren Rechnung getragen werden (Stichworte: Linearisierung, Taylor-Entwicklung, MCS).				
Bewertung				

4.5.3 Trennung der Einflussgrößen




Im Modell muss eindeutig zu erkennen sein, welche Einflussgrößen berücksichtigt werden und wie sie zum Messergebnis beitragen.				
Bewertung				

4.5.4 Voraussetzung zur Anwendung von Untermodellen

Die Verwendung von Untermodellen ist prinzipiell zulässig. Es ist jedoch zu prüfen und sicherzustellen, dass keine Korrelationen von Einflussgrößen in verschiedenen Untermodellen bestehen.				
Bewertung				




4.6 Empfindlichkeitskoeffizienten

4.6.1 Ermittlung der Empfindlichkeitskoeffizienten




<p>Sofern Empfindlichkeitskoeffizienten durch partielle Ableitung ermittelt wurden, ist die Korrektheit der Ableitung zu prüfen.</p> <p>Falls Empfindlichkeitskoeffizienten durch sonstige numerische Verfahren (Bsp.: Näherungen oder Abschätzungen) ermittelt wurden, ist die Gültigkeit der Ermittlungsmethode zu prüfen.</p>				
Angewendetes Verfahren	<input type="checkbox"/> Partielle Ableitung	<input type="checkbox"/> Numerische Näherung	<input type="checkbox"/> Entfällt (z. B. bei der Monte-Carlo-Simulation)	
Bewertung				

4.7 Messunsicherheitsanalyse




4.7.1 Relevante Einflüsse

<p>Alle relevanten Messunsicherheitseinflüsse müssen erfasst sein. Bekannte, vernachlässigte Einflüsse sind zu benennen und die Gründe der Nichtberücksichtigung anzugeben.</p> <p style="text-align: right;">→ DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.6.1</p>				
Bewertung				




4.7.2 Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

Die Zuordnung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF ⁷) zu einer Einflussgröße muss plausibel sein.				
Bewertung				




4.7.3 Annahmen zu Einflussgrößen

Abschätzungen von Einflussgrößen müssen auf nachvollziehbaren Annahmen beruhen und dokumentiert werden.				
Bewertung				




4.7.4 Eigenschaften des Prüflings

Die Eigenschaften des Prüflings sind bei der Aufstellung der Modellgleichung zu berücksichtigen.				
Bewertung				

4.7.5 Externe Bewertungen

Sofern die Bewertung von Einflussgrößen auf externen Meinungen (zum Beispiel Expertenmeinungen) beruht, ist die Informationsquelle anzugeben.				
Bewertung				




4.7.6 Umrechnungsfaktoren und Konstanten

Umrechnungsfaktoren und Konstanten müssen als mögliche Einflussgrößen in Betracht gezogen werden.				
Bewertung				

⁷ Im Englischen wird die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion mit PDF abgekürzt. Diese Abkürzung ist geläufig und wird übernommen.




4.8 Korrelationen

4.8.1 Feststellung von Korrelationen




Liegt die Vermutung nahe, dass Einflussgrößen miteinander korreliert sind, ist die Korrelation zu bestimmen und in die Messunsicherheitsbilanz einzubringen. Wurden keine Korrelationen festgestellt, ist ein Hinweis sinnvoll, dass der Sachverhalt geprüft wurde.				
Liegen Korrelationen vor?	<input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein			
Bewertung				

4.9 Bildung der Messunsicherheitsbilanz




4.9.1 Einheitenrichtige Beiträge

Die Messunsicherheitsbilanz muss physikalisch und mathematisch korrekt sein.				
Bewertung				

4.9.2 Tabellarische Form zur Messunsicherheitsbilanz

Sofern die Einträge in der Unsicherheitsbilanz nicht selbsterklärend sind, ist eine eindeutige Beschreibung der Inhalte notwendig. Zu den verwendeten Rechenschritten dürfen keine Interpretationsmöglichkeiten aufkommen.				
Bewertung				

4.9.3 Verwendung der Einheiten




Die Messunsicherheit wird entweder relativ zur Messgröße oder in der Einheit der Messgröße angegeben. Die Verwendung des SI oder gesetzlicher Einheiten wird empfohlen.				
→ Gesetz über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung [8]				
→ Einheitenverordnung [9]				
Bewertung				

4.10 Prüfung des effektiven Freiheitsgrades

4.10.1 Prüfung des effektiven Freiheitsgrades

Sofern der effektive Freiheitsgrad der ermittelten Messunsicherheit größer als fünfzig ist, kann ohne weitere Prüfung der Erweiterungsfaktor $k = 2$ angewendet werden, um eine annähernd 95-prozentige Überdeckungswahrscheinlichkeit zu erreichen. Ansonsten muss auf Basis der Student-Verteilung (t -Verteilung; s. Anhang E in EA-4/02 M: 2013) ein größerer Erweiterungsfaktor angewendet werden.

[MCS: Entfällt bei Anwendung der Monte-Carlo-Simulation.]




Wurde der effektive Freiheitsgrad ermittelt?	<input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein			
Effektiver Freiheitsgrad größer als 50?	<input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein			
Bewertung				

4.11 Darstellung von Ergebnissen

4.11.1 Ergebnisdarstellung




Die erweiterte Messunsicherheit ist als positiver Größenwert mit Zuordnung einer Überdeckungswahrscheinlichkeit und eines Erweiterungsfaktors anzugeben.

Die erweiterte Messunsicherheit wird üblicherweise auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Bewertung				
-----------	--	---	---	---

4.11.2 Größengleichungen statt Zahlenwertgleichungen




Sofern Messunsicherheiten durch Gleichungen angegeben werden, sind Größengleichungen und keine Zahlenwertgleichungen zu benutzen.

Bewertung				
-----------	--	---	---	---

5 Checkliste zur Validierung der Messunsicherheit einer tatsächlichen Messung (weitere Anforderungen)

5.1 Formale Prüfungen

5.1.1 Bezeichnung und Identifikation

Die Bestimmung der Messunsicherheit wird in folgendem Dokument beschrieben. Alternativ kann auch eine validierte und nachvollziehbare Tabellenkalkulation (o. ä.) benannt werden. → DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.11, 8.3 → DIN EN ISO 9001 [7], Pkt. 4.2.3				
Bezeichnung des Dokuments oder der Datei				
Bezeichnung der Messgröße				
Version				
Freigabedatum				
Ersteller				
Freigabe (Name)				
Bewertung				

5.2 Messgröße




Es gelten die Fragestellungen an die kleinste angebbare Messunsicherheit.

→ Abschnitt 4.2, Seite 15

5.3 Messprozess

5.3.1 Überschreitungen von Grenzwerten




Werden ursprünglich für den Messprozess definierte Grenzwerte überschritten, sind die Auswirkungen der Grenzwertüberschreitungen zu untersuchen und gegebenenfalls im Rahmen der Messunsicherheitsbilanz angemessen zu berücksichtigen.

Bewertung				
-----------	--	---	---	---

5.4 Messmittel




5.4.1 Anforderungen an Messmittel und -einrichtungen

Es wird davon ausgegangen, dass die für den Messprozess eingeplanten Normale, Messmittel und Hilfsmittel benutzt wurden. Sollte dies nicht der Fall sein, ist zu untersuchen, ob durch den Messmittelwechsel eine Beeinflussung der Messunsicherheit berücksichtigt werden muss.

Bewertung				
-----------	--	---	---	---

5.5 Modellbildung

Ein neues Modell ist nicht erforderlich bei tatsächlichen Messungen, sofern das Modell aus der Bestimmung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit (→ Abschnitt 4.5, Seite 17) übernommen werden kann und auf dieses verwiesen wird.




Bewertung				
-----------	--	---	---	---


5.6 Empfindlichkeitskoeffizienten

→ Abschnitt 4.6 gilt sinngemäß.

5.7 Messunsicherheitsanalyse

Es ist zu prüfen, ob das zur Ermittlung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit genutzte Modell auch für eine tatsächliche ermittelte Messunsicherheit genutzt werden kann. Abweichungen zwischen beiden Modellen sind zu prüfen.




Bewertung				
-----------	--	---	---	---

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	24 / 29




5.8 Korrelationen

Es gilt die unter → Abschnitt 4.8.1, „Feststellung von Korrelationen“, Seite 20, gestellte Frage sinngemäß. Auf die dort genannten Referenzen wird ebenso verwiesen.

5.9 Bildung der Messunsicherheitsbilanz




Nicht erforderlich bei tatsächlichen Messungen, da man in der Regel auf die Bilanz der kleinsten angebbaren Messunsicherheit für diese Messgröße entsprechend → Abschnitt 4.9, Seite 20 verweisen kann. Andernfalls ist eine neue Messunsicherheitsbilanz zu erstellen.				
Bewertung				

5.10 Prüfung des effektiven Freiheitsgrades




Sofern der effektive Freiheitsgrad der ermittelten Messunsicherheit größer als fünfzig ist, kann ohne weitere Prüfung der Erweiterungsfaktor $k = 2$ angewendet werden, um eine annähernd 95-prozentige Überdeckungswahrscheinlichkeit zu erreichen. Ansonsten muss auf Basis der Student-Verteilung (t -Verteilung; s. Anhang E in EA-4/02 M: 2013) ein größerer Erweiterungsfaktor angewendet werden. [GUM Framework: Sofern auf Grund der Modellierung der Aufgabe bereits vorab ausgeschlossen werden kann, dass der Freiheitsgrad eines Ergebnisses in der Größenordnung $\nu_{\text{eff}} = 50$ oder kleiner zu vermuten ist, kann auf die Prüfung verzichtet werden] [MCS: Entfällt bei Anwendung der Monte-Carlo-Simulation.]				
Wurde der Freiheitsgrad ermittelt?	<input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein			
Freiheitsgrad größer als 50?	<input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein			
Bewertung				

5.11 Nachweisführung zur angegebenen Messunsicherheit




5.11.1 *Vollständige Ergebnisdarstellung*

Werden Messergebnisse dargestellt, sind diese vollständig – d. h. inklusive der beigeordneten Messunsicherheit – anzugeben.				
Bewertung				




5.11.2 Verweis auf die Berechnungsgrundlage


Wenn Messunsicherheiten angegeben werden, muss es einen Hinweis geben, wo Informationen zur Ermittlung dieser Werte zu finden sind.				
Bewertung				

5.11.3 Aufzeichnung von Ablesungen




Die zur Ermittlung der Messunsicherheit benutzten Ablesewerte (ermittelte Zahlenwerte) müssen als Rohdaten dokumentiert sein. → DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.5.1				
Bewertung				

5.11.4 Validierte Berechnungen

Verwendete Software muss validiert sein. Validierungsnachweise müssen im Rahmen des QM-Systems erbracht und dokumentiert werden. → Eintrag und Definition „Validierung“ in Tabelle 1, „Messtechnische Symbole und Formelzeichen“, Seite 8 → DIN EN ISO 9001:2008 [7], Pkt. 7.5.2 → DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [4], Pkt. 7.2, 7.11				
Bewertung				

	Validierung von Messunsicherheitsbilanzen https://doi.org/10.7795/550.20201009A	DKD-L 13-2	
		Ausgabe	10/2020
		Revision:	0
		Seite:	26 / 29

5.11.5 Bezug zur kleinsten angebbaren Messunsicherheit

Sofern das Laboratorium für die Messgröße akkreditiert ist, darf die angegebene Messunsicherheit die kleinste angebbare Messunsicherheit nicht unterschreiten. → EA-4/02 M: 2013 (Deutsche Übersetzung) Anhang A [3]				
Bewertung				

6 Anhang

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in metrology, Paris: BIPM, 2008.
- [2] Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM), BIPM, Paris, 2008.
- [3] Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS), EA-4/02 M: 2013 Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung), 2019.
- [4] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO/IEC 17025:2018 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, Berlin: Beuth Verlag, 2018.
- [5] Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 102:2011 Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement - Models with any number of output quantities, BIPM, Paris, 2011.
- [6] Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement - Propagation of distributions using a Monte Carlo method, BIPM, Paris, 2008.
- [7] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO 9001:2015 Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen, Beuth Verlag, Berlin, 2015.
- [8] Gesetz über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung, http://www.gesetze-im-internet.de/me_einhg/EinhZeitG.pdf, 2016.
- [9] Ausführungsverordnung zum Gesetz über die Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung (Einheitenverordnung -EinhV), <http://www.gesetze-im-internet.de/einhv/EinhV.pdf>, 2009.

6.2 Index

A		Einheiten	20
Abkürzung		Empfindlichkeitskoeffizient	
DAkKS	6	Formelzeichen	6
n/a	7	Empfindlichkeitskoeffizienten	18, 23
Abkürzungen	15	Erfüllungsgrad	13
Ableitung, Partielle	18	Ergebnis	
Angegebene Messunsicherheit	11	Darstellung des	21
Aufzeichnungen		Vollständigkeit	25
Ablesungen	25	Ermittlungsmethoden	11
Ausgangsgröße	6	Ersteller	22
Autoren	3	Erweiterungsfaktor	7
B		F	
Bearbeitungshinweise	12	Formales	14, 22
Beispiel	13	Formelzeichen	6, 15
Berechnung		c_i	6
Validierung	25	u	8
Bestimmungsgleichung	20	U	8
Bezeichnung		w	8
Dokument	13, 14, 22	W	8
Messgröße	14, 22	Freigabe	13, 14, 22
Bezeichnungen	14	Freigabedatum	13, 14, 22
Bilanz	20, 24	Freiheitsgrad	21
C		Effektiver	6, 24
Checkliste	14	G	
c_i		Grenzwerte	16, 23
Formelzeichen	6	Größengleichungen	21
Creative Commons	3	Grundlagen	11
D		Gültigkeit	12
DAkKS	6	GUM Framework	12
Definition		H	
Kleinste angebbare Messunsicherheit	7	Herausgeber	3
Deutsche Akkreditierungsstelle	6	Hilfsmittel	16, 23
Deutscher Kalibrierdienst	3	I	
DKD	→ Deutscher Kalibrierdienst	Impressum	26
Dokumentation	11	Inhaltsverzeichnis	4
E		K	
EA-4/02 M		Kleinste angebbare Messunsicherheit	11, 26
2013 (Deutsche Übersetzung)		Definition	7
Anhang B, B2	7	Korrelationen	20, 24
Effektiver Freiheitsgrad	6, 24	Kriterien	
Eindeutigkeit	18	CMC	9
Einflussgröße	6	reale Messung	10
Einflussgröße, Relevante	18	Kriterium	12
Einflussgrößen			
Annahmen	19		

L		Eigenschaften	19
Linearisierung	17		
M		R	
MCS	7	Rückführung	
Messanordnung		Darstellung	16
Darstellung	17	S	
Messbedingungen		Schwerpunkte	11
Überwachung	17	Sekundäre Messmittel	17
Messgröße	15, 22	SI 15, 20	
Bezeichnung	14, 22	Software	25
Definition	15	Validierung	17
Messmittel	16, 23	Standardmessunsicherheit	8
Messmittel.Sekundäre	17	Symbole	6
Messprozess	15, 23	T	
Kriterium	15	Tabellarische Form	20
Vorgaben	16	U	
Messunsicherheit		Umrechnungsfaktoren	19
Angegebene	11	Untermodelle	18
Kleinste angebbare	7, 11	Urheberrecht	3
Messunsicherheitsanalyse	18, 23	V	
Messunsicherheitsbeitrag	7, 8	Validierung	8
Messunsicherheitsbilanz	7	Definition	12
Ergebnis	6	Nachweis	12
Messunsicherheitsbudget → Messunsicherheitsbilanz		Software	17
Messunsicherheitseinfluss	7	Versionsnummer	13, 14, 22
Modell	17, 23	W	
Modellgleichung	17	<i>w</i>	
Monte Carlo Simulation	12	Formelzeichen	8
Muss-Bedingung	12	<i>W</i>	
Muster	13	Formelzeichen	8
N		Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion	8, 19
n/a	7	Z	
Normen		Zielsetzungen	11
Grundlagen	12		
P			
PDF.			
Abkürzung	8		
Prozessgleichung	16, 17		
Prüfling			



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de