

	DIN IEC/TR 62461 (VDE 0493-1000)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Leitlinie im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 13.280; 17.240 Ersatz für DIN VDE 0493 Beiblatt 2 (VDE 0493 Beiblatt 2):2007-06 Siehe Anwendungsbeginn Strahlenschutz-Messgeräte – Bestimmung der Unsicherheit beim Messen (IEC/TR 62461:2015) Radiation protection instrumentation – Determination of uncertainty in measurement (IEC/TR 62461:2015) Instrumentation pour la radioprotection – Détermination de l'incertitude de mesure (CEI/TR 62461:2015) Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer VDE-Leitlinie erstellt und ist die Übernahme eines Fachberichts der IEC (IEC/TR). Gesamtumfang 63 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist 2015-07-01.

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	5
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten	6
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Formelzeichen	13
5 Das Konzept nach GUM und GUM S1	15
5.1 Allgemeines Konzept der Unsicherheitsbestimmung	15
5.1.1 Überblick in vier Schritten.....	15
5.1.2 Zusammenfassung der Schritte 3 und 4 für das analytische Verfahren	16
5.1.3 Zusammenfassung der Schritte 3 und 4 für das Monte-Carlo-Verfahren	16
5.1.4 Welche Methode anwenden: Analytisches Verfahren oder Monte-Carlo-Verfahren	17
5.2 Beispiel einer Modellfunktion.....	17
5.3 Sammlung von Daten und vorhandenen Kenntnissen für das Beispiel	20
5.3.1 Allgemeines	20
5.3.2 Kalibrierfaktor für das Beispiel.....	20
5.3.3 Null-Anzeige für das Beispiel	21
5.3.4 Anzeige für das Beispiel.....	22
5.3.5 Relatives Ansprechvermögen oder Korrektionsfaktor für das Beispiel	23
5.3.6 Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen für Eingangsgrößen	25
5.4 Berechnung des Messergebnisses und der beigeordneten Standardunsicherheit (Unsicherheitsbudget)	26
5.4.1 Allgemeines	26
5.4.2 Analytisches Verfahren	26
5.4.3 Monte-Carlo-Verfahren.....	27
5.4.4 Unsicherheitsbudget.....	27
5.5 Angabe des Messergebnisses und seiner beigeordneten erweiterten Unsicherheit	29
5.5.1 Allgemeines	29
5.5.2 Analytisches Verfahren	29
5.5.3 Monte-Carlo-Verfahren.....	30
5.5.4 Angabe der Ausgangs-Verteilungsfunktion in einfacher Form (Monte-Carlo-Verfahren)	32
6 Ergebnisse unterhalb der Erkennungsgrenze des Messgerätes	32
7 Übersicht über die Anhänge	33

Anhang A (informativ) Beispiel einer Unsicherheitsanalyse für eine Messung mit einem elektronischen Dosisleistungsmessgerät für die Umgebungs-Äquivalentdosis nach IEC 60846-1:2009	34
Anhang B (informativ) Beispiel einer Unsicherheitsanalyse für eine Messung mit einem passiven integrierenden Dosimetriesystem nach IEC 62387:2012	41
Anhang C (informativ) Beispiel einer Unsicherheitsanalyse für eine Messung mit einem direkt anzeigenden Neutronen-Ortsdosimeter für die Umgebungs-Äquivalentdosis nach IEC 61005:2003	47
Anhang D (informativ) Beispiel einer Unsicherheitsanalyse für die Kalibrierung eines Radon-Aktivitätsmonitors nach den Normen der Reihe IEC 61577	54
Anhang E (informativ) Beispiel einer Unsicherheitsanalyse für eine Messung der Oberflächenemissionsrate mit einem Kontaminationsmessgerät nach IEC 60325:2002	57
Literaturhinweise	62
 Bild 1 – Dreieckförmige Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der möglichen Werte von n für den Kalibrierfaktor N	21
Bild 2 – Rechteckförmige Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der möglichen Werte von g_0 für die Null-Anzeige G_0	22
Bild 3 – Gaußförmige Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der möglichen Werte von g für den angezeigten Wert G	22
Bild 4 – Vergleich von verschiedenen Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen von möglichen Werten: rechteckig (gestrichelte Linie), dreieckförmig (gepunktete Linie) und gaußförmig (durchgezogene Linie)	25
Bild 5 – Verteilungsfunktion Q der Messwerte	31
Bild 6 – Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) der Messwerte	31
Bild C.1 – Ergebnisse des analytischen (rote gestrichelte Linien) und des Monte-Carlo-Verfahrens (graues Histogramm und blaue gestrichelte und durchgezogene Linien) für $\dot{H}^*(10)$	53
Bild D.1 – Ergebnis des analytischen (rote gestrichelte Linien) und des Monte-Carlo-Verfahrens (graues Histogramm und blaue gestrichelte Linien) für K_T	56
 Tabelle 1 – Im Haupttext (ohne Anhänge) benutzte Formelzeichen (und Abkürzungen)	13
Tabelle 2 – Standardunsicherheit und Berechnungsverfahren für die in Bild 4 gezeigten Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen	26
Tabelle 3 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget einer Messung mit einem elektronischen Dosimeter bei Verwendung der Modellfunktion $M = N K (G - G_0)$ und niedrigem Niveau der Berücksichtigung von Arbeitsplatzbedingungen, siehe 5.3.5.2	28
Tabelle 4 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget einer Messung mit einem elektronischen Dosimeter bei Verwendung der Modellfunktion $M = N K (G - G_0)$ und hohem Niveau der Berücksichtigung von Arbeitsplatzbedingungen, siehe 5.3.5.3	29
Tabelle A.1 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget für eine Dosisleistungsmessung nach IEC 60846-1:2009 mit einem Gerät mit logarithmischer Skale und niedrigem Niveau der Berücksichtigung von Messbedingungen, für Details siehe Text	37
Tabelle A.2 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget für eine Dosisleistungsmessung nach IEC 60846-1:2009 mit einem Gerät mit logarithmischer Skale und hohem Niveau der Berücksichtigung von Messbedingungen, für Details siehe Text	39
Tabelle B.1 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget für eine Messung der Photonendosis mit einem passiven Dosimetriesystem nach IEC 62387:2012 und niedrigem Niveau der Berücksichtigung von Arbeitsplatzbedingungen, für Details siehe Text	43

Tabelle B.2 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget für eine Messung der Photonendosis mit einem passiven Dosimetriesystem nach IEC 62387:2012 und hohem Niveau der Berücksichtigung von Arbeitsplatzbedingungen, für Details siehe Text	45
Tabelle C.1 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget für eine Messung der Neutronendosisleistung nach IEC 61005:2003 unter Verwendung des analytischen Verfahrens	50
Tabelle C.2 – Beispiel für das Unsicherheitsbudget für eine Messung der Neutronendosisleistung nach IEC 61005:2003 unter Verwendung des Monte-Carlo-Verfahrens	51
Tabelle C.3 - Ergebnisse des analytischen und des Monte-Carlo-Verfahrens	53
Tabelle D.1 – Liste der in Gleichung (D.1) verwendeten Größen	54
Tabelle D.2 – Liste der vorhandenen Informationen über die Eingangsgrößen von Gleichung (D.1)	55
Tabelle D.3 – Beispiel für ein Unsicherheitsbudget für die Kalibrierung eines Radon-Monitors nach IEC 61577, für Details siehe Text.....	55
Tabelle E.1 – Beispiel für ein Unsicherheitsbudget für die Messung einer Oberflächenemissionsrate nach IEC 60325:2002, für Details siehe Text.....	60
Tabelle E.2 – Beispiel für ein Unsicherheitsbudget für die Messung einer Oberflächenemissionsrate nach IEC 60325:2002 zur Bestimmung der Unsicherheit eines Messwertes von null.....	61

Nationales Vorwort

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GUK 967.3 „Strahlenschutzdosimeter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem Normenausschuss Radiologie (NAR), zuständig. Weiterhin einbezogen waren K 967 „Mess-, Steuer- und Regelungstechnik im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung“, GUK 967.2 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ und GAK 967.2.1 „Nachweis- und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen“ der DKE.

Die VDE-Leitlinien enthalten sicherheitstechnische Festlegungen mit einem im Vergleich zu den VDE-Bestimmungen wesentlich erweiterten Ermessensraum für eigenverantwortliches sicherheitstechnisches Handeln.

VDE-Leitlinien sind angebracht, wenn die Vielfalt der zu betrachtenden Sachlagen oder Gestaltungsmöglichkeiten nach vorherrschender Meinung durch unmittelbar anwendbare Anweisungen nicht erfasst werden kann. Sie dienen dem Anwender als Beispielsammlung oder Grundlage für eigene sicherheitstechnische Entscheidungen. Für sich allein sind sie nicht als ausreichende Entscheidungsgrundlage für die Genehmigungs- und Überwachungsbehörden oder die Anwender geeignet.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 45B „Radiation protection instrumentation“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0493 Beiblatt 2 (VDE 0493 Beiblatt 2):2007-06** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Ergänzung des Monte-Carlo-Verfahrens zur Bestimmung der Unsicherheit nach Supplement 1 zu *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM S1) zusätzlich zum analytischen Verfahren zur Bestimmung der Unsicherheit;
- b) Aufnahme eines einfachen Verfahrens für die Beurteilung, ob sich ein Messergebnis signifikant von null unterscheidet, entsprechend DIN ISO 11929:2011-01;
- c) redaktionelle Überarbeitung des gesamten Textes.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0493 Beiblatt 2 (VDE 0493 Beiblatt 2): 2007-06

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-151	a	–
–	IEC 60050-300	a	–
–	IEC 60050-311	a	–
EN 60325:2004	IEC 60325:2002, modifiziert	DIN EN 60325 (VDE 0493-2-1):2005-02	VDE 0493-2-1
EN 60846-1:2014	IEC 60846-1:2009, modifiziert	DIN EN 60846-1 (VDE 0492-2-1):2015-01	VDE 0492-2-1
EN 61005:2004	IEC 61005:2003, modifiziert	DIN EN 61005 (VDE 0492-2-2):2005-03	VDE 0492-2-2
EN 61526:2013	IEC 61526:2010, modifiziert	DIN EN 61526 (VDE 0492-1):2013-09	VDE 0492-1
–	IEC 61577-1:2006	DIN IEC 61577-1 (VDE 0493-1-10-1):2007-06	VDE 0493-1-10-1
–	IEC 61577-2:2014	DIN IEC 61577-2 (VDE 0493-1-10-2):2015-03	VDE 0493-1-10-2
EN 61577-3:2014	IEC 61577-3:2011, modifiziert	DIN EN 61577-3 (VDE 0493-1-10-3):2015-03	VDE 0493-1-10-3
–	IEC 62387:2012	E DIN IEC 62387 (VDE 0492-3):2013-07	VDE 0492-3
–	ISO 11929:2010	DIN ISO 11929:2011-01	–
–	ISO 21909:2005	–	–
–	ISO/IEC Guide 98-1:2009	–	–
–	ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM:1995)	–	–
–	+ Supplement 1:2008	–	–
^a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60325 (VDE 0493-2-1):2005-02, *Strahlenschutz-Messgeräte – Alpha-, Beta- und Alpha/Beta-(Betaenergie > 60 keV) Kontaminationsmessgeräte und -monitore (IEC 60325:2002, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60325:2004*

DIN EN 60846-1 (VDE 0492-2-1):2015-01, *Strahlenschutz-Messgeräte – Umgebungs- und/oder Richtungs-Äquivalentdosis(leistungs)-Messgeräte und/oder Monitore für Beta-, Röntgen- und Gammastrahlung – Teil 1: Tragbare Messgeräte und Monitore für den Arbeitsplatz und die Umgebung (IEC 60846-1:2009, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60846-1:2014*

DIN EN 61005 (VDE 0492-2-2):2005-03, *Strahlenschutz-Messgeräte – Umgebungsäquivalentdosis(leistungs)-Messgeräte für Neutronenstrahlung (IEC 61005:2003, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61005:2004*

DIN EN 61526 (VDE 0492-1):2013-09, *Strahlenschutz-Messgeräte – Messung der Tiefen- und der Oberflächen-Personendosis $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$ für Röntgen-, Gamma-, Neutronen- und Betastrahlung – Direkt ablesbare Personendosimeter (IEC 61526:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61526:2013*

DIN EN 61577-3 (VDE 0493-1-10-3):2015-03, *Strahlenschutz-Messgeräte – Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten – Teil 3: Besondere Anforderungen an Messgeräte für Radonfolgeprodukte (IEC 61577-3:2011, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61577-3:2014*

DIN IEC 61577-1 (VDE 0493-1-10-1):2007-06, *Strahlenschutz-Messgeräte – Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61577-1:2006)*

DIN IEC 61577-2 (VDE 0493-1-10-2):2015-03, *Strahlenschutz-Messgeräte – Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten – Teil 2: Besondere Anforderungen für Messgeräte für Rn-222 und Rn-220 (IEC 61577-2:2014)*

E DIN IEC 62387 (VDE 0492-3):2013-07, *Strahlenschutz-Messgeräte – Passive integrierende Dosimetriesysteme zur Personen- und Umweltüberwachung auf Photonen- und Betastrahlung (IEC 62387:2012)*

DIN ISO 11929:2011-01, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen (ISO 11929:2010)*

Einleitung

Der ISO/IEC Guide 98-3:2008 *Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM) und sein Supplement 1:2008 (GUM S1) sind universelle Leitfäden, um die Unsicherheit beim Messen zu ermitteln. Dieser Technische Bericht legt den Schwerpunkt auf deren Anwendung im Bereich Strahlenschutz und dient als praktische Einführung in den GUM und sein Supplement (GUM S1).

Der Prozess der Bestimmung der Unsicherheit ergibt nicht nur einen zahlenmäßiger Wert für die Unsicherheit, er erzeugt zusätzlich den besten Schätzwert für die zu bestimmende Messgröße, der von dem vom Instrument angezeigten Wert verschieden sein kann. Dadurch verbessert er auch das Ergebnis der Messung durch Nutzung von Informationen, die über die Anzeige des Gerätes hinausgehen, zum Beispiel der Energieabhängigkeit des Gerätes.

1 Anwendungsbereich

Dieser Technische Bericht gibt Leitlinien für die Anwendung einer Unsicherheitsanalyse nach ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM, der ein analytisches Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit beschreibt) und seines Supplement 1:2008 (GUM S1, das ein Monte-Carlo-Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit beschreibt) für solche Messungen, die in Normen des Unterkomitees 45B „Radiation protection instrumentation“ der IEC beschrieben werden. Er beinhaltet nicht die Unsicherheit, die mit dem Konzept der Messgröße verbunden ist, zum Beispiel den Unterschied zwischen $H_p(10)$ auf dem ISO-Wasser-Quader-Phantom und auf der Person.

Dieser Technische Bericht erklärt die Prinzipien des ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM), seines Supplement 1:2008 (GUM S1) und die speziell für den Strahlenschutz zu berücksichtigenden Punkte an einem Beispiel aus dem Bereich der Personendosimetrie externer Strahlung. In informativen Anhängen werden mehrere Beispiele von Anwendungen für Messinstrumente gegeben, für die das Unterkomitee 45B Normen erarbeitet hat.

Dieser Technische Bericht soll das Verständnis des ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM), seines Supplement 1:2008 (GUM S1) und anderer Veröffentlichungen zur Unsicherheitsanalyse unterstützen; weder kann er diese Veröffentlichungen ersetzen, noch kann er den Hintergrund und die Begründung der Argumente liefern, die zum Konzept des ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM) und seines Supplement 1:2008 (GUM S1) geführt haben.

Schlussendlich gibt dieser Bericht ein sehr einfaches, auf ISO 11929 basierendes Verfahren an, um zu entscheiden, ob ein Messergebnis signifikant von null verschieden ist oder nicht.

Im Sinne einer besseren Lesbarkeit werden die korrekten Begriffe nicht immer im gesamten Technischen Bericht verwendet. Zum Beispiel wird statt „Zufallsvariablen einer Größe“ nur die „Größe“ selbst angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050 (alle Teile), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM:1995)

ISO/IEC Guide 98-3 Supplement 1:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM:1995) – *Propagation of distributions using a Monte Carlo method*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-151 [1] und IEC 60050-311 [2] und die folgenden, die dem ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM) und seinem Supplement 1:2008 (GUM S1) entnommen wurden¹⁾.

3.1

Kalibrierfaktor

N

(en: calibration factor)

Quotient aus richtigem Wert einer Größe und dem für eine Bezugs-Strahlungsqualität unter festgelegten Bezugsbedingungen angezeigten Wert

¹⁾ Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

3.2

Konformitätsprüfung

(en: conformity test)

Prüfung zur Konformitätsbewertung

[QUELLE: IEC 60050-151:2001, 151-16-15]

3.3

vollständiges Messergebnis

(en: complete result of a measurement)

einer Messgröße zugeordnete Wertemenge, die einen Wert, die zugehörige Unsicherheit und die Einheit des Messwertes beinhaltet

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser zentrale Wert aus der Gesamtmenge (der Werte) kann als *Wert der Messgröße* und ein Parameter, der die Werteverteilung als *Messunsicherheit* kennzeichnet, ausgewählt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Messergebnis ist auf den vom *Messgerät angezeigten Wert* und auf die Korrekturwerte bezogen, die durch Kalibrierung und die Verwendung eines *Modells* erhalten wurden.

Anmerkung 3 zum Begriff: In diesem Technischen Bericht wird das „Messergebnis“, siehe obige Anmerkung 1, mit *M* angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: In diesem Technischen Bericht wird der „vom *Messgerät angezeigte Wert*“, siehe obige Anmerkung 2, mit *G* angegeben und als „*angezeigter Wert*“ bezeichnet.

Anmerkung 5 zum Begriff: In diesem Technischen Bericht wird das „Modell“, siehe obige Anmerkung 2, als „Modellfunktion“ bezeichnet, siehe 3.10 und 5.2.

[QUELLE: IEC 60050-311:2001, 311-01-01, modifiziert]

3.4

Korrektionsfaktor

K

(en: correction factor)

Faktor, anzubringen an den angezeigten Wert, zur Korrektur von Abweichungen der Messbedingungen von den Kalibrierbedingungen

3.5

Erweiterungsfaktor

k_{cov}

(en: coverage factor)

Faktor, mit dem die (kombinierte) Standardmessunsicherheit zu multiplizieren ist, um die erweiterte Messunsicherheit zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Erweiterungsfaktor k_{cov} ist üblicherweise im Bereich von 2 bis 3.

[QUELLE: GUM:2008, 2.3.6]

3.6

Erkennungsgrenze

m^*

(en: decision threshold)

Wert einer Messgröße, dessen Überschreiten durch ein ermitteltes Messergebnis für diese Messgröße, die einen physikalischen Effekt quantifiziert, anzeigt, dass der physikalische Effekt vorliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Fall, dass das Messergebnis m größer ist als die Erkennungsgrenze m^* , ist die Erkennungsgrenze so festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, kleiner oder gleich einem vorgegebenen Wert α ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn das Messergebnis m kleiner als die Erkennungsgrenze m^* ist, kann das Ergebnis nicht dem physikalischen Effekt zugeordnet werden. Trotzdem kann daraus nicht geschlossen werden, dass der physikalische Effekt nicht vorliegt.

[QUELLE: ISO 11929:2010]

3.7**Abweichung***D*

(en: deviation)

Differenz zwischen den angezeigten Werten eines anzeigenden Messgeräts für gleiche Werte der Messgröße oder für die Werte einer Maßverkörperung, wenn eine Einflussgröße aufeinanderfolgend zwei unterschiedliche Werte annimmt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition ist auf alle Messgeräte und Einflussgrößen anwendbar, aber sie sollte hauptsächlich in den Fällen angewendet werden, in denen die Abweichung unabhängig vom angezeigten Wert ist.

[QUELLE: IEC 60050-311:2001, 311-07-03 modifiziert²⁾]

3.8**Verteilungsfunktion***F(x)*

(en: distribution function)

Funktion, die für jeden Wert x die Wahrscheinlichkeit angibt, dass die Zufallsvariable X kleiner oder gleich x ist: $F(x) = \Pr(X \leq x)$

[QUELLE: GUM:2008, C.2.4; GUM S1:2008, 3.2]

3.9**erweiterte Unsicherheit***U*

(en: expanded uncertainty)

Größe, die einen Bereich um den Messwert kennzeichnet, der erwartungsgemäß einen großen Anteil der Verteilung der Werte umfasst, die der Messgröße vernünftigerweise als Ergebnis der Messung zugeschrieben werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Die erweiterte Unsicherheit wird durch Multiplikation der (kombinierten) Standardunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor erhalten.

[QUELLE: GUM:2008, 2.3.5]

3.10**angezeigter Wert***G*

(en: indicated value)

durch ein Messgerät oder ein Messsystem zur Verfügung gestellter Größenwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Anzeige wird oft durch die Position eines Zeigers auf der Skala für analoge Ausgänge, eine angezeigte Zahl für digitale Ausgänge und ein Kodemuster für kodierte Ausgänge oder einen zugeordneten Wert für Maßverkörperungen gegeben.

3.11**Einflussgröße**

(en: influence quantity)

Größe, die nicht Messgröße ist, jedoch das Messergebnis beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Beispiel die Temperatur einer Messschraube zur Längenmessung.

[QUELLE: GUM:2008, B.2.10]

3.12**Messwert***M*

(en: measured value)

Wert, der aus dem angezeigten Wert G durch Anwendung der Modellfunktion für die Messung erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel einer Modellfunktion wird nachfolgend gegeben. Es werden der Kalibrierfaktor N , eine Abweichung D und ein Korrektionsfaktor angewendet:

$$M = N \cdot K \cdot (G - D)$$

²⁾ Originalbegriff „Einflusseffekt (durch eine Einflussgröße)“.

Die Berechnungen entsprechend dieser Modellfunktion werden nicht immer durchgeführt. Ein Hauptzweck dieser Modellfunktion der Messung ist, dass sie für jede Bestimmung der Unsicherheit nach GUM notwendig ist (siehe GUM, 3.1.6, 3.4.1 und 4.1; siehe auch 5.2 in diesem Technischen Bericht).

Anmerkung 2 zum Begriff: Im GUM wird der *Messwert* mit *Wert der Messgröße* bezeichnet.

3.13

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$f(x)$

(en: probability density function <for a continuous random variable>)

<für eine kontinuierliche Zufallsvariable> Ableitung (falls sie existiert) der Verteilungsfunktion $f(x) = dF(x)/dx$

Anmerkung 1 zum Begriff: $f(x) \cdot dx$ ist das „Wahrscheinlichkeitselement“ (en: „probability element“):

$f(x) dx = \Pr(x < X < (x+dx))$; im Allgemeinen: $\Pr(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$.

[QUELLE: GUM:2008, C.2.5; GUM S1:2008, 3.3, modifiziert durch Ergänzung von „im Allgemeinen“]

3.14

Bezugsbedingungen

(en: reference conditions)

Menge festgelegter Werte und/oder Wertebereiche von Einflussgrößen, unter denen die Messunsicherheiten oder Fehlergrenzen, die für ein Messgerät zulässig sind, am niedrigsten liegen

[QUELLE: IEC 60005-311:2001, 311-06-02]

3.15

Bezugs-Ansprechvermögen

R_{ref}

(en: reference response)

Ansprechvermögen der Anordnung unter Bezugsbedingungen bezogen auf die Referenzdosis(leistung) oder -aktivität und ausgedrückt als

$$R_{\text{ref}} = \frac{G}{M_c}$$

wobei G der mit der zu prüfenden Einrichtung oder Anordnung gemessene Wert der Größe ist und M_c der richtige Wert der Referenzquelle

3.16

relatives Ansprechvermögen

R_{rel}

(en: relative response)

Quotient aus Ansprechvermögen zu Bezugs-Ansprechvermögen unter festgelegten Bedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die festgelegten Bezugsbedingungen ist das Ansprechvermögen der Kehrwert des Kalibrierfaktors.

3.17

Ansprechvermögen

R

(en: response)

Quotient aus dem Wert der Größe, der unter festgelegten Bedingungen mit der zu prüfenden Einrichtung oder Anordnung gemessen wurde, zu dem richtigen Wert dieser Größe

3.18

Standardunsicherheit

(en: standard uncertainty)

einem Messergebnis oder einer Eingangsgröße beigeordnete Standardabweichung

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe GUM:2008, 2.3.4.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Standardunsicherheit des Messergebnisses wird gelegentlich als „kombinierte Standardunsicherheit“ bezeichnet.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Quotient von Standardunsicherheit und Messergebnis wird „relative Standardunsicherheit“ genannt und gelegentlich als Prozentwert angegeben.

3.19

Bauartprüfung

(en: type test)

Konformitätsprüfung auf der Grundlage eines oder mehrerer für die Produktion repräsentativer Muster eines Produkts

[QUELLE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16]

3.20

Unsicherheit

Messunsicherheit

(en: uncertainty, uncertainty of measurement)

dem Messergebnis beigeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnten

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Parameter kann beispielsweise eine Standardabweichung (oder ein gegebenes Vielfaches davon) oder die halbe Weite eines Bereichs sein, der ein festgelegtes Vertrauensniveau (Überdeckungswahrscheinlichkeit) hat.

[QUELLE: GUM:2008, 2.2.3]

4 Formelzeichen

In Tabelle 1 ist eine Liste der im Haupttext dieses Technischen Berichts (ohne Anhänge) benutzten Formelzeichen (und Abkürzungen) angegeben.

Tabelle 1 – Im Haupttext (ohne Anhänge) benutzte Formelzeichen (und Abkürzungen) (1 von 3)

Symbol	Bedeutung	Einheit (Dosis- messung)
a	Halbbreite des Intervalls möglicher Werte für eine Größe	Wie die Größe
a_-	Untere Grenze des Intervalls möglicher Werte für eine Größe	Wie die Größe
a_+	Obere Grenze des Intervalls möglicher Werte für eine Größe	Wie die Größe
α	Wahrscheinlichkeit, einen Effekt nachzuweisen (ein Ergebnis größer als null anzugeben), obwohl in Wirklichkeit kein Effekt vorliegt (der richtige Wert ist null); dies wird auch als „Wahrscheinlichkeit einer falsch positiven Entscheidung“ bezeichnet	–
c_k	Sensitivitätskoeffizient für die Eingangsgröße K	Sv
c_m	Sensitivitätskoeffizient für die Eingangsgröße M	–
c_{m_0}	Sensitivitätskoeffizient für die Eingangsgröße M_0	–
c_n	Sensitivitätskoeffizient für die Eingangsgröße N	Sv
$F(x)$	Verteilungsfunktion	–
$f(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (für eine kontinuierliche Zufallsvariable) PDF	Kehrwert der Größe
G	Angezeigter Wert, zum Beispiel Anzeige eines Dosimeters in Einheiten von $H_p(10)$	Sv
$\hat{g}$	Bester Schätzwert von G	Sv
g	Möglicher (Schätz-)Wert von G	Sv

Tabelle 1 (2 von 3)

Symbol	Bedeutung	Einheit (Dosis-messung)
G_0	Null-Anzeige	Sv
$\hat{g}_0$	Bester Schätzwert von G_0	Sv
g_0	Möglicher (Schätz-)Wert von G_0	Sv
$h(x)$	Modellfunktion, siehe Anmerkung 1 zu 3.12 ^{N1)}	Wie die Ergebnisgröße
$H_p(10)$	Tiefen-Personendosis, in einer Tiefe von 10 mm	Sv
i	Laufindex (ganzzahlig)	–
j	Laufindex (ganzzahlig)	–
K	Korrektionsfaktor, zum Beispiel für Energie und Einfallswinkel der Strahlung	–
$\hat{k}$	Bester Schätzwert von K	–
k	Möglicher (Schätz-)Wert von K	–
$k_{1-\alpha}$	Quantil der Standard-Normalverteilung für eine gegebene Wahrscheinlichkeit α	–
k_{cov}	Überdeckungsfaktor	–
L	Anzahl der Monte-Carlo-Versuche	–
M	Messwert, zum Beispiel Tiefen-Personendosis $H_p(10)$	Sv
M_c	Richtiger Wert einer Referenzquelle	Sv
$\hat{m}$	Bester Schätzwert von M	Sv
m	Möglicher (Schätz-)Wert von M	Sv
m^*	Erkennungsgrenze von M	Sv
N	Kalibrierfaktor	–
$\hat{n}$	Bester Schätzwert von N	–
n	Möglicher (Schätz-)Wert von N	–
p	Überdeckungswahrscheinlichkeit	–
Q	Verteilungsfunktion für die Ausgangsgröße	–
q	Beliebige Ganzzahl	–
R_{abs}	Absolutes Ansprechvermögen	–
R_{rel}	Relatives Ansprechvermögen	–
$s_{\hat{g}}$	Standardabweichung der Verteilung der g -Werte	Sv
$s_{\hat{g}_0}$	Standardabweichung der Verteilung der g_0 -Werte	Sv
$s_{\hat{k}}$	Standardabweichung der Verteilung der k -Werte	–
$s_{\hat{n}}$	Standardabweichung der Verteilung der n -Werte	–
T	Anzahl der Eingangsgrößen	Sv

^{N1)} Nationale Fußnote: $h(x)$ kommt in der Anmerkung 1 zu 3.12 nicht vor, jedoch mehrfach in 5.1.1 und 5.4.3.

Tabelle 1 (3 von 3)

Symbol	Bedeutung	Einheit (Dosis-messung)
U	Erweiterte Messunsicherheit	Sv
$u(\hat{m})$	Dem besten Schätzwert des Messergebnisses m beigeordnete Standard-unsicherheit	Sv
$u_g(\hat{m})$	Unsicherheitsbeitrag der Eingangsgröße G zu u , der dem besten Schätzwert des Messergebnisses m beigeordnet ist	Sv
$u_{g_0}(\hat{m})$	Unsicherheitsbeitrag der Eingangsgröße G_0 zu u , der dem besten Schätzwert des Messergebnisses m beigeordnet ist	Sv
$u_k(\hat{m})$	Unsicherheitsbeitrag der Eingangsgröße K zu u , der dem besten Schätzwert des Messergebnisses m beigeordnet ist	Sv
$u_n(\hat{m})$	Unsicherheitsbeitrag der Eingangsgröße N zu u , der dem besten Schätzwert des Messergebnisses m beigeordnet ist	Sv
X	Eine nicht spezifizierte Größe	Wie die Größe
$\hat{x}$	Bester Schätzwert von X	Wie die Größe
x	Möglicher (Schätz-)Wert von X	Wie die Größe
y	Zufallszahl aus der Standard-Normalverteilung	–
z	Zufallszahl aus dem Intervall 0 ... 1 (Rechteckverteilung)	–

5 Das Konzept nach GUM und GUM S1

5.1 Allgemeines Konzept der Unsicherheitsbestimmung

5.1.1 Überblick in vier Schritten

Der GUM:2008 und sein Supplement 1, GUM S1:2008:

- berücksichtigen verfügbare Größen, die die Messung beeinflussen, zum Beispiel die Erfahrung der Person, die die Messung durchführt;
- gründen sich teilweise auf der Bayes-Statistik (besonders GUM S1);
- sind international akzeptiert.

ANMERKUNG Die Methoden des GUM und des GUM S1 sind in vielen Veröffentlichungen beschrieben und erläutert, siehe [3] bis [11].

Die Anwendung des GUM (analytisches Verfahren) und des GUM S1 (Monte-Carlo-Verfahren), nicht die Begründung oder die dahinterliegende Mathematik, wird im Folgenden in einem vereinfachten Beispiel beschrieben. Weitergehende Details sind in der Literatur zu finden.

Die folgenden vier Schritte sind für die Fortpflanzung (Bestimmung) der Unsicherheit notwendig. Insbesondere für die ersten zwei Schritte ist die Erfahrung der auswertenden Person erforderlich.

- Schritt 1: Eine mathematische Modellfunktion (oder ein Algorithmus) müssen festgelegt werden, die den Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen X_i und der Ausgangsgröße M beschreiben.

$$M = h(X_1, \dots, X_T) \quad (1)$$

Dabei ist

T die Anzahl der Eingangsgrößen;

X_i eine Eingangsgröße;

M die Ausgangsgröße.

Die Modellfunktion sollte jede Größe beinhalten, einschließlich aller Korrekturen und Korrekturfaktoren, die einen signifikanten Beitrag zur Unsicherheit des Messergebnisses liefern können. Details sind in 5.2 angegeben.

- Schritt 2: Die verfügbaren Informationen über die Eingangsgrößen X_i müssen gesammelt werden. Details sind in 5.3 angegeben.
- Schritt 3: Die Standardunsicherheit $u(\hat{m})$ der Ausgangsgröße muss berechnet werden, entweder unter Verwendung des analytischen Verfahrens (erläutert in 5.1.2) oder des Monte-Carlo-Verfahrens (erläutert in 5.1.3). Für diesen Schritt ist nur die Anwendung von Mathematik erforderlich. Diese Aufgabe kann daher vollständig mittels eines Computerprogramms durchgeführt werden, zum Beispiel der Software „GUM Workbench“ [12] oder „UncertRadio“ [13]. Details sind in 5.4 angegeben.
- Schritt 4: Die erweiterte Unsicherheit $U(\hat{m})$ und/oder das zugehörige Überdeckungsintervall müssen angegeben werden. Details sind in 5.5 angegeben.

5.1.2 Zusammenfassung der Schritte 3 und 4 für das analytische Verfahren

In diesem Unterabschnitt wird im Folgenden eine kurze Zusammenfassung zur Illustration des analytischen Verfahrens angegeben.

- a) Als erstes sind für jede Eingangsgröße X_i , $i = 1 \dots T$, die besten Schätzwerte $\hat{x}_i$ und die zugehörigen Standardunsicherheiten $s(\hat{x}_i)$ zu bestimmen.
- b) Als zweites werden die Sensitivitätskoeffizienten, das heißt die partielle Ableitung der Ausgangsgröße bezüglich jeder Eingangsgröße, bestimmt, $c_i = \partial h / \partial x_i$; dies ist die Steigung der Modellfunktion, $h(x_i)$. Je größer diese ist, desto größer ist der Einfluss der zugehörigen Eingangsgröße auf die Ausgangsgröße, daher ist die Steigung der „Hebelarm“ oder die „Auswirkung“ der zugehörigen Eingangsgröße.
- c) Als drittes wird für jede Eingangsgröße der Unsicherheitsbeitrag zur Ausgangsgröße berechnet, indem die Standardunsicherheit mit dem Sensitivitätskoeffizienten multipliziert wird: $u_i(\hat{m}) = |c_i| \cdot s(\hat{x}_i)$.
- d) Als viertes wird die kombinierte Standardunsicherheit der Ausgangsgröße als Wurzel aus den quadrierten Unsicherheitsbeiträgen^{N2)} bestimmt: $u_c(\hat{m}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \{u_i(\hat{m})\}^2}$. Falls einige Eingangsgrößen (Zufallsvariable, die den Stand des Wissens über die zugehörigen Eingangsgrößen ausdrücken) mit anderen korreliert sind (das heißt, sie hängen voneinander ab), müssen weitere Terme zur Summe unter dem Wurzelzeichen addiert werden, wie in GUM:2008, 5.2 ausführlich dargestellt.
- e) Schließlich wird die erweiterte Unsicherheit der Ausgangsgröße bestimmt, indem die Standardunsicherheit mit dem zugeordneten Erweiterungsfaktor (üblicherweise $k = 2$) multipliziert wird: $U_c(\hat{m}) = 2 \cdot u_c(\hat{m})$. Sofern die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ausgangsgröße nicht näherungsweise gaußförmig (oder normalverteilt) ist, kann der Erweiterungsfaktor einen anderen Wert haben, siehe GUM:2008, 6.3.

5.1.3 Zusammenfassung der Schritte 3 und 4 für das Monte-Carlo-Verfahren

In diesem Unterabschnitt wird im Folgenden eine kurze Zusammenfassung zur Illustration des Monte-Carlo-Verfahrens angegeben, die aus der Einleitung und GUM S1:2008, 5.9.6 entnommen wurde.

Dieses Supplement zum GUM befasst sich mit der Fortpflanzung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen durch ein mathematisches Modell der Messung [GUM:1995, 3.1.6] als eine Grundlage zur Auswertung der Unsicherheit von Messungen und ihre Umsetzung durch ein Monte-Carlo-Verfahren. Die Behandlung ist auf ein Modell anwendbar, welches eine beliebige Anzahl von Eingangsgrößen und eine einzelne Ausgangsgröße besitzt. Das beschriebene Monte-Carlo-Verfahren ist eine praktische Alternative zu dem Verfahren des GUM [GUM:1995, 3.4.8]. Es ist von Wert, wenn

- a) die Linearisierung des Modells eine unangemessene Darstellung bereitstellt oder

^{N2)} Nationale Fußnote: Gemeint ist die Summe der quadrierten Unsicherheitsbeiträge.

- b) die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) (en: probability density function) für die Ausgangsgröße merklich von einer Gauß-Verteilung oder einer skalierten und verschobenen t -Verteilung abweicht, z. B. durch eine merkliche Asymmetrie von dominierenden Einflussgrößen (das heißt, jenen mit großen Unsicherheiten) oder durch eine Modellfunktion mit nur sehr wenigen Einflussgrößen, die zusätzlich nicht gaußförmig verteilt sind.

Das Monte-Carlo-Verfahren kann als ein Schritt-für-Schritt-Verfahren ausgeführt werden, siehe GUM S1: 2008, 5.9.6:

- Wähle die Anzahl L der durchzuführenden Monte-Carlo-Versuche,
- Erzeuge durch Stichprobennahme aus den zugeordneten PDFs L Vektoren als eine Verwirklichung der (Menge von $i = 1 \dots T$) Eingangsgrößen X_i ,
- Bilde für jeden dieser Vektoren den entsprechenden Wert $M = h(X_i)$ des Modells, wodurch sich L Werte M_j des Modells mit $j = 1 \dots L$ ergeben,
- Sortiere diese L Werte des Modells in streng aufsteigender Ordnung und verwende die sortierten Werte des Modells, um die Verteilungsfunktion für die Ausgangsgröße Q bereitzustellen,
- Berechne den Mittelwert von $M_1 \dots M_L$, der ein Schätzwert $\hat{m}$ von M ist, und berechne dessen Standardabweichung, die eine Ermittlung der Standard-Messunsicherheit $u(\hat{m})$ ist, die $\hat{m}$ beigeordnet wird, siehe 5.4.3 d),
- Verwende Q , um ein geeignetes Überdeckungsintervall für M zu bilden, bezüglich einer festgesetzten Überdeckungswahrscheinlichkeit p , siehe 5.5.3.

5.1.4 Welche Methode anwenden: Analytisches Verfahren oder Monte-Carlo-Verfahren

Das Monte-Carlo-Verfahren liefert üblicherweise bessere Schätzwerte des Ergebnisses und der Unsicherheit, sofern die Messbedingungen richtig modelliert sind, da keine Näherungen angewendet werden; dies wurde durch experimentelle Forschungsergebnisse bestätigt [11]. Das analytische Verfahren ist jedoch für eine große Anzahl von Messungen einfacher anzuwenden, wie sie zum Beispiel in Messstellen auftreten, die täglich eine große Anzahl von ähnlichen Messungen durchführen, und kann daher bevorzugt Anwendung finden.

Wenn die Modellfunktion linear ist und die Eingangsgrößen symmetrisch um ihren Zentralwert verteilt sind, kann das analytische Verfahren verwendet werden.

In den anderen Fällen sollten die Ergebnisse von beiden Methoden angegeben werden, um ihre Differenz darzustellen. Wenn sich die 95%-Überdeckungsintervalle des Monte-Carlo-Verfahrens und des analytischen Verfahrens um nicht mehr als 10 % unterscheiden, kann das analytische Verfahren zur Bestimmung der Unsicherheit in ähnlichen Fällen verwendet werden, das heißt, bei ähnlicher Modellfunktion und ähnlichen oder kleineren Werten für die Unsicherheit der Eingangsgrößen.

5.2 Beispiel einer Modellfunktion

Die Grundlage jeder Messung und der erste (und wahrscheinlich wichtigste) Schritt zur Ermittlung der Unsicherheit ist die Definition des Modells der Messung. Dies ist eine mathematische Verknüpfung von allen Einflussgrößen^{N3)}. Verschiedene auswertende Personen können jedoch verschiedene Kenntnisse des Prozesses haben und wie die verschiedenen mitspielenden Größen interagieren und deshalb verschiedene Modellfunktionen angeben. Dies ist ein Abbild der wissenschaftlichen Wirklichkeit: Eine auswertende Person erkennt das Vorhandensein einer bestimmten Einflussgröße und berücksichtigt sie in der Modellfunktion, eine andere nicht. Im Ergebnis können von verschiedenen auswertenden Personen verschiedene Unsicherheiten (und vielleicht sogar verschiedene Messergebnisse) berechnet werden. Deshalb ist es wichtig, im Detail zu erläutern, welche Eingangsgrößen berücksichtigt wurden, auch wenn sie als vernachlässigbar angesehen werden.

Verschiedene Modelle der Messung führen typischerweise zu verschiedenen Unsicherheitsermittlungen, deshalb ist dies auch eine Quelle von Unsicherheiten, die oft als „Modellunsicherheit“ bezeichnet wird [14], [15]. Wenn verschiedene Modelle der auswertenden Person als gleich sinnvoll erscheinen, sollten verschiedene Unsicherheitsermittlungen durchgeführt werden, um die Sensitivität des Ergebnisses hinsichtlich verschiede-

^{N3)} Nationale Fußnote: Gemeint sind Eingangsgrößen.

ner Modellannahmen zu ermitteln und möglicherweise den Unsicherheitsbeitrag zu quantifizieren, der sich aus den Vielfalt solcher Modelle ergibt.

Die Modellfunktion ist in den meisten Fällen eine analytische Funktion, dies wird aber vom Verfahren nach GUM S1 nicht gefordert, es kann auch ein Algorithmus sein. Es ist wichtig, dass das Modell einen eindeutigen Wert für die Messgröße ergibt. Um das Modell zu erläutern, wird das Beispiel eines elektronischen Personendosimeters gewählt. Die Anzeige des Dosimeters gibt die Dosis direkt in Einheiten der Messgröße an, zum Beispiel in μSv oder mSv für die Größe $H_p(10)$.

Ein erprobtes Verfahren zum Aufstellen der Modellfunktion ist es, vom Prinzip von Ursache und Wirkung auszugehen. Die Ursache – und das Ziel der Messung – ist die Dosis M , die auf Grund des absoluten Ansprechvermögens R_{abs} eine Anzeige $M \times R_{\text{abs}}$ erzeugt, die noch durch die Null-Anzeige G_0 erhöht wird. Deshalb ist der angezeigte Wert des Dosimeters gegeben durch:

$$G = M \cdot R_{\text{abs}} + G_0 \quad (2)$$

Dabei ist

G der angezeigte Wert, zum Beispiel die Anzeige des Dosimeters in Einheiten von $H_p(10)$;

M die Ursache, zum Beispiel die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$, die gemessen werden soll;

R_{abs} das absolute Ansprechvermögen;

G_0 die Null-Anzeige.

Das Ziel der Messung ist M , daher ist die Modellfunktion gegeben durch:

$$M = \frac{1}{R_{\text{abs}}} (G - G_0) \quad (3)$$

Der Kehrwert des absoluten Ansprechvermögens R_{abs} ist gegeben durch:

$$\frac{1}{R_{\text{abs}}} = \frac{N}{R_{\text{rel}}} = N \cdot K \quad (4)$$

Dabei ist

N der Kalibrierfaktor;

R_{rel} das Ansprechvermögen, bezogen auf das Ansprechvermögen unter Kalibrierbedingungen, und daher die Berücksichtigung der verschiedenen Einflussgrößen, zum Beispiel bezüglich Energie und Strahleneinfallswinkel;

K der zugehörige Korrekturfaktor für die Abweichung von den Kalibrierbedingungen; er berücksichtigt daher die verschiedenen Einflussgrößen, zum Beispiel bezüglich Energie und Strahleneinfallswinkel.

Um symmetrische Intervalle um den besten Schätzwert der Einflussgröße zu erhalten, wird entweder R_{rel} oder K verwendet, je nachdem, welche Größe in der jeweils zutreffenden Norm symmetrisch zu Eins begrenzt ist, zum Beispiel $1,0 \pm 0,4$. Sofern keine Größe symmetrisch begrenzt ist, sollte diejenige verwendet werden, deren Intervall dichter bei Eins liegt. Ausnahme: Wird das analytische Verfahren verwendet, so sollte K verwendet werden, sofern die Standardunsicherheit 10 % überschreitet. Der Grund ist, dass bei dem analytischen Verfahren implizit eine lineare Näherung der Modellfunktion verwendet wird und die Näherung bei Standardunsicherheiten größer als 10 % nicht gut genug ist, siehe GUM:2008, 5.1.2 und GUM S1:2008, 7.9 sowie [10].

ANMERKUNG 1 Sofern die Verteilung von R symmetrisch und relativ weit begrenzt ist, zum Beispiel $1,0 \pm 0,4$, ist die Relation $K = 1 / R_{\text{rel}}$ nicht trivial, das heißt, sie führt nicht zu einer symmetrischen Verteilung von K , und sie führt zu einer anderen (üblicherweise nicht trivialen) Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF). Zum Beispiel führt eine Rechteckverteilung zu einer hyperbolischen Verteilung. Dies wird jedoch in diesem Bericht aus zwei Gründen ignoriert. Erstens aus Gründen der Einfachheit. Zweitens legen gerätespezifische Normen nur Grenzen für das Ansprechvermögen oder den Kalibrierfaktor fest. Die Transformation dieser Grenzen mittels $K = 1 / R_{\text{rel}}$ führt zu neuen Grenzen. Daher führt das Prinzip der maximalen Entropie (PME) in beiden Fällen zu einer Rechteckverteilung.

ANMERKUNG 2 Für ein Gerät, das Strahlung über eine lange Zeitdauer akkumuliert (zum Beispiel ein Personendosimeter, das für mehrere Stunden bis zu Monaten getragen wird), ist der Wert von R üblicherweise der Mittelwert aller Werte, die die Eingangsgröße während der Mess-Zeitdauer angenommen hat.

Die Modellfunktion ist damit endgültig gegeben durch:

$$M = \frac{N}{R_{\text{rel}}} (G - G_0) = N K (G - G_0) \quad (5)$$

Die Modellfunktion (Gleichung (5)) gibt die Beziehung zwischen der Messgröße M , genannt Ausgangsgröße der Auswertung (die das Messergebnis darstellt), und den Eingangsgrößen N , R_{rel} (oder K), G und G_0 an.

Falls eine oder mehrere Eingangsgrößen im Nenner der Modellfunktion auftreten, muss das Ergebnis des analytischen Verfahrens mittels des Monte-Carlo-Verfahrens validiert werden. Dies kann auf folgende Weise erfolgen. Es werden die 95%-Überdeckungsintervalle bestimmt, die sich aus dem analytischen Verfahren und dem Monte-Carlo-Verfahren ergeben. Sie sollten um nicht mehr als 10 % voneinander abweichen, siehe 5.1.4. Ein möglicher Fehlschluss bei der Durchführung der Unsicherheitsanalyse ist, die Analyse anhand der Gleichung (2) für den angezeigten Wert durchzuführen, dies übersieht aber, dass das Ziel der Messung die Ursache M und die ihr beizuordnende Unsicherheit ist und nicht der angezeigte Wert G .

Eine alternative Methode, das Modell der Messung zu definieren, ist in den Fällen von Bedeutung, in denen einige der Eingangsgrößen von der Messgröße abhängen (das heißt, es liegt ein impliziter Zusammenhang vor). In diesen Fällen ist die sogenannte Beobachtungsformel [en: observation formula] ein geeignetes Verfahren [16].

Bei der Durchführung von Routine-Messungen wird oft $N = R_{\text{rel}} = K = 1$ und $G_0 = 0$ angenommen. Dies führt zu $M = G$ und bedeutet, dass überhaupt keine Korrektur angebracht wird. Wird jedoch die der Messung beigeordnete Unsicherheit betrachtet, so muss die Modellfunktion mit allen Korrekturen berücksichtigt werden. Die Modellfunktion ist daher in jedem Messprozess implizit enthalten.

Die unvollkommene Kenntnis des wahren Wertes wird in der Weise berücksichtigt, dass für die Auswertung sowohl die Eingangsgrößen N , R_{rel} , K , G , G_0 als auch die Ausgangsgröße M durch Zufallsvariable ersetzt werden. Ihre möglichen Werte werden durch kleine Buchstaben, zum Beispiel n und r bezeichnet, während alle Größen als große Buchstaben wie in Gleichung (5) bezeichnet werden. Für jede Größe sind die möglichen Werte durch eine Verteilung charakterisiert, die einen Erwartungswert (Mittelwert) hat, der durch einen kleinen Buchstaben mit einem Zirkumflex (Dach) darüber bezeichnet wird, zum Beispiel $\hat{n}$ und $\hat{r}$, und eine zugehörige Standardabweichung (Standardunsicherheit) des Erwartungswertes, die durch den Buchstaben s und einen durch den Mittelwert gegebenen Index bezeichnet wird, zum Beispiel entsprechend $s_{\hat{n}}$ und $s_{\hat{r}}$. Wie in Gleichung (5) zu sehen, ist die Ausgangsgröße M mit den Eingangsgrößen N , R_{rel} (oder K_{rel}), G und G_0 durch die Modellfunktion verbunden. Daher führt die Verteilung der möglichen Werte der Eingangsgrößen zu einer Verteilung der möglichen Werte der Ausgangsgröße M . Dies wird durch den entsprechenden Erwartungswert $\hat{m}$ und dessen Standardabweichung beschrieben. Analog zu den Symbolen für die Eingangsgrößen könnte diese als $s_{\hat{m}}$ bezeichnet werden, aber in aller Literatur wird das Symbol u benutzt, dies wird daher auch hier verwendet. Das Ziel der Unsicherheitsanalyse entsprechend dem GUM und dem GUM S1 ist die Bestimmung von $u(\hat{m})$, dies sollte als „ u beigeordnet zu $\hat{m}$ “ gesprochen werden. Das grundsätzliche Verfahren, um diese zu bestimmen, ist es, alle Eingangsgrößen in ihren Bereichen der möglichen Werte zu variieren. Dies führt zu einer Variation der möglichen Werte m der Ausgangsgröße, die durch die Modellfunktion gegeben ist. Diese Variation bestimmt eine Verteilung der Ausgangswerte m , deren Mittelwert $\hat{m}$ und deren Standardabweichung $u(\hat{m})$ ist.

$$m = \frac{n}{r_{\text{rel}}} (g - g_0) = n k (g - g_0) \quad (6)$$

Dabei ist

n ein möglicher Wert für den Kalibrierfaktor;

r_{rel} ein möglicher Wert des Ansprechvermögens bezogen auf das Ansprechvermögen unter Kalibrierbedingungen und daher die Berücksichtigung der verschiedenen Einflussgrößen, zum Beispiel bezüglich Energie und Strahleneinfallswinkel;