

DIN EN ISO 11929-2
(VDE 0493-9292)
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 17.240

Einsprüche bis 2021-03-15

Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 11929-2
(VDE 0493-9292):2020-03

Entwurf
Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen –
Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen
(ISO 11929-2:2019);
Deutsche Fassung prEN ISO 11929-2:2020

Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation –

Fundamentals and application –

Part 2: Advanced applications

(ISO 11929-2:2019);

German version prEN ISO 11929-2:2020

Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle élargi) pour mesurages de rayonnements ionisants –

Principes fondamentaux et applications –

Partie 2: Applications avancées

(ISO 11929-2:2019);

Version allemande prEN ISO 11929-2:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-01-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 47 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
 DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)
 DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Anwendungsbegrinn

Anwendungsbegrinn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN ISO 11929-2:2020: „Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen – Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Das Internationale Dokument wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Dokumente, die bei CEN als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/GK 851 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR), zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

ISO 11929 wurde in vier Teile aufgeteilt, von denen der erste Teil elementare Anwendungen behandelt, bei denen die Messunsicherheiten nach dem ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 1: Guide to the expression of uncertainty in measurement*, (JCGM 100:2008), ermittelt werden – und somit ISO 11929:2010 ersetzt. Der zweite Teil erweitert die frühere ISO 11929:2010 um fortgeschrittene Anwendungen, bei denen die Messunsicherheiten nach ISO/IEC Guide 98-3-1, *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement – Propagation of distributions using a Monte Carlo method* (JGCM 101:2008), ermittelt werden, und der dritte Teil behandelt Anwendungen, bei denen Entfaltungstechniken auf der Grundlage des ISO/IEC Guide 98-3 angewendet werden. Der vierte Teil gibt mit Beispielen Anleitung zur Anwendung der Norm.

Die Reihe DIN ISO 11929, künftig DIN EN ISO 11929, besteht aus vier Teilen:

- Teil 1: Elementare Anwendungen
- Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen
- Teil 3: Anwendung von Entfaltungstechniken
- Teil 4: Anwendungsleitfaden

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.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber **DIN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292):2020-03** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Anforderungen der bestehenden Norm sollen unverändert als Europäische Norm übernommen werden.

**Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze
und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung –
Grundlagen und Anwendungen –
Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen**

Inhalt

Seite

Vorwort	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Größen und Symbole	10
5 Zusammenfassung der Verfahren zu Auswertung und Bericht zur Messunsicherheit und den charakteristischen Grenzen	12
6 Auswertung einer Messung auf der Grundlage des ISO/IEC Guide 98-3-1	15
6.1 Einleitung und zu treffende Entscheidungen	15
6.2 Allgemeines zur Messgröße und zum Modell der Auswertung	15
6.3 Aufstellen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Eingangsgrößen	16
6.4 Fortpflanzung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	18
6.5 Berechnung des primären Messergebnisses	19
6.6 Dem primären Messergebnis zugeordnete Standardunsicherheit	19
7 Standardunsicherheit als Funktion eines angenommenen Werts der Messgröße	20
8 Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Beurteilungen	20
8.1 Vorgaben	20
8.2 Erkennungsgrenze	21
8.3 Nachweisgrenze	22
8.4 Beurteilungen	22
9 Grenzen des Überdeckungsintervalls	23
9.1 Allgemeines	23
9.2 Das probabilistisch symmetrische Überdeckungsintervall	23
9.3 Das kürzeste Überdeckungsintervall	24
10 Der beste Schätzwert und die ihm zugeordnete Standardunsicherheit	24
11 Dokumentation	25
Anhang A (normativ) Messungen mit niedrigen gezählten Ereigniszahlen	27
Anhang B (informativ) Erläuterungen	29
Literaturhinweise	44

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitees ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“, Unterkomitee SC 2 „Radiological protection“ erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe von **ISO 11929-2** ersetzt zusammen mit ISO 11929-1 und ISO 11929-3 ISO 11929:2010, die technisch überarbeitet wurde^{N1}. Die wesentliche Änderung bezieht sich auf die Art der statistischen Behandlung der Daten und die Erweiterung bezüglich der Verfahrensweise bei der Unsicherheitsbestimmung nach ISO/IEC Guide 98-3:2009 um ISO/IEC Guide 98-3-1:2008.

Eine Liste aller Teile der Reihe ISO 11929 ist auf der ISO-Internetseite zu finden.

^{N1} Nationale Fußnote: Tatsächlich wurde ISO 11929:2010 durch ISO 11929-1:2019 ersetzt; **ISO 11929-2:2019** und **ISO 11929-3:2019** erweitern die Thematik vielmehr um weitere Anwendungen (siehe Nationales Vorwort).

Einleitung

Messunsicherheiten und charakteristische Grenzen, wie die Erkennungsgrenze, die Nachweisgrenze und die Grenzen des Überdeckungsintervalls, sowie der beste Schätzwert und die ihm zugeordnete Standardunsicherheit sind in der Metrologie allgemein und im Strahlenschutz von besonderer Bedeutung. Die Quantifizierung der Unsicherheit, die einem Messergebnis zuzuordnen ist, stellt eine Grundlage dar für das Vertrauen, das ein Individuum in das Messergebnis setzen kann. Konformität mit gesetzlichen Grenzen, Richtwerten oder Referenzwerten kann nur durch Berücksichtigung und Quantifizierung aller Quellen der Unsicherheit gezeigt werden. Charakteristische Grenzen sind schließlich eine Grundlage für Entscheidungen unter Unsicherheit.

Die Reihe ISO 11929 behandelt speziell charakteristische Grenzen für eine nicht-negative Messgröße bei der Messung ionisierender Strahlung. Sie ist jedoch für einen weiten Bereich von Messverfahren anwendbar, der weit über die Messung ionisierender Strahlung hinausgeht.

Die nach der Reihe ISO 11929 zu vorgegebenen Wahrscheinlichkeiten für falsche Entscheidungen festzulegenden Grenzen gestatten es, Nachweismöglichkeiten für eine Messgröße und den durch diese Messgröße quantifizierten physikalischen Effekt wie folgt zu beurteilen:

- Die „Erkennungsgrenze“ erlaubt eine Entscheidung darüber, ob der durch die Messgröße quantifizierte physikalische Effekt vorliegt;
- die „Nachweisgrenze“ gibt an, welcher kleinste wahre Wert der Messgröße mit einem anzuwendenden Messverfahren noch nachgewiesen werden kann. Sie erlaubt damit eine Entscheidung darüber, ob das Messverfahren gestellten Anforderungen genügt und damit für den vorgesehenen Messzweck geeignet ist;
- die „Grenzen des Überdeckungsintervalls“ schließen im Fall, dass das Vorliegen des physikalischen Effektes erkannt wird, ein Überdeckungsintervall ein, das mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit den wahren Wert der Messgröße enthält.

Die genannten Grenzen werden im Folgenden zusammenfassend „charakteristische Grenzen“ genannt.

ANMERKUNG Nach ISO/IEC Guide 99:2007, aktualisiert in JCGM 200:2012, wird der Begriff „Überdeckungsintervall“ (en: coverage interval) anstatt „Konfidenzintervall“ (en: confidence interval) benutzt, um die Wortwahl der Bayesschen Terminologie von der der konventionellen Statistik zu unterscheiden.

Alle diese charakteristischen Grenzen basieren auf der Bayes-Statistik und auf dem ISO/IEC Guide 98-3 sowie auf ISO/IEC Guide 98-3-1 und ISO/IEC Guide 98-3-2. Wie im Detail in **ISO 11929-2** beschrieben, werden die charakteristischen Grenzen mathematisch als Momente und Quantile von Wahrscheinlichkeitsdichten (en: probability density distributions) der möglichen Werte der Messgröße definiert.

Weil der Messunsicherheit in dieser Norm eine wichtige Rolle zukommt, werden die Auswertung von Messungen und die Behandlung von Messunsicherheiten nach den allgemeinen Verfahren nach ISO/IEC Guide 98-3 und ISO/IEC Guide 98-3-1 (siehe auch Literaturhinweise [9] bis [13]) durchgeführt. Dies ermöglicht die strikte Trennung der Auswertung der Messungen einerseits und der Festlegung und Berechnung der charakteristischen Grenzen andererseits. ISO 11929 basiert auf einer Theorie der Messunsicherheiten [14] bis [16], die ihrerseits auf der Bayes-Statistik [z. B. [17] bis [22]] beruht und es erlaubt, auch solche unsichere Größen und Einflüsse zu berücksichtigen, die nicht durch mehrfach wiederholte oder zählende Messungen ermittelt wurden. Die letztgenannten Unsicherheiten können mit der konventionellen oder frequentistischen Statistik nicht berücksichtigt werden.

Wegen der Entwicklungen der Metrologie in Bezug auf Messunsicherheiten, wie sie in ISO/IEC Guide 98-3 niedergelegt wurden, wurde ISO 11929:2010 auf der Grundlage des ISO/IEC Guide 98-3 entwickelt. Jedoch wurde die Bayes-Statistik und eine Bayessche Theorie der Messunsicherheiten benutzt. Diese Theorie liefert eine Bayessche Begründung für ISO/IEC Guide 98-3. Darüber hinaus basierte ISO 11929:2010 auf den Definitionen der charakteristischen Grenzen [9], einem Vorschlag für eine Norm [10], und einer einführenden Publikation [11]. ISO 11929:2010 vereinigte und ersetzte frühere Teile von ISO 11929 und war für eine Vielzahl von Messverfahren ionisierender Strahlung sowie, in analoger Weise, auch für andere Messverfahren anwendbar.

2008 wurde ISO/IEC Guide 98-3-1 publiziert, in dem eine generellere Behandlung der Messunsicherheiten ausführlich beschrieben wurde und Monte-Carlo-Methoden für komplexe Auswertungen von Messungen herangezogen wurden. Dies war die Motivation, ein entsprechendes Monte-Carlo-Supplement [12] zu ISO 11929:2010 zu schreiben und ISO 11929:2010 zu revidieren. Die Revision von ISO 11929 beruht weiterhin auf der Bayes-Statistik und kann als Brücke zwischen ISO 11929:2010 und ISO/IEC Guide 98-3-1 dienen. Darüber hinaus erlauben eine generellere Definition der charakteristischen Grenzen (ISO 11929-2) und die Monte-Carlo-Berechnung der charakteristischen Grenzen, einen Schritt über den Stand der Normung, wie er in ISO 11929:2010 niedergelegt ist, hinauszugehen, da Wahrscheinlichkeitsverteilungen statt Unsicherheiten fortgepflanzt werden können. Die Revision ist daher umfassender und erweitert den Bereich der Anwendungen.

Die Reihe ISO 11929 ist darüber hinaus expliziter bei der Berechnung der charakteristischen Grenzen. Sie korrigiert auch ein Problem in ISO 11929:2010 bezüglich unsicherer Größen und Einflüsse, die sich bei wiederholten Messungen nicht zufällig verhalten. Die Publikation [13] gibt eine Übersicht über die Grundlagen dieser Revision. Außerdem werden in ISO 11929-3 detaillierte Anleitungen gegeben, wie charakteristische Grenzen im Falle multivariater Messungen und Entfaltungsverfahren zu berechnen sind. Für solche Messungen bietet ISO/IEC Guide 98-3-2 die Grundlage für die Auswertung der Messunsicherheiten.

Gleichungen werden für die Berechnung der charakteristischen Grenzen einer Messgröße der Messung ionisierender Strahlung angegeben, sowohl mittels der „Standardmessunsicherheit“ der Messgröße (im Folgenden „Standardunsicherheit“) nach ISO/IEC Guide 98-3, als auch mittels Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (en: probability density functions, PDFs) der Messgröße, die auf der Grundlage des ISO/IEC Guide 98-3-1 ermittelt werden. Die Standardunsicherheiten oder die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen berücksichtigen sowohl die Unsicherheiten der aktuellen Messung als auch solche der Probenbehandlung, der Kalibrierung von Messsystemen und andere Einflüsse. Bei letzteren wird angenommen, dass sie aus früheren Untersuchungen bekannt sind.

1 Anwendungsbereich

Die Reihe ISO 11929 legt im Bereich der Metrologie ionisierender Strahlung ein Verfahren zur Berechnung der „Erkennungsgrenze“, der „Nachweisgrenze“ und der „Grenzen des Überdeckungsintervalls“ für eine nicht-negative Messgröße der ionisierenden Strahlung bei Messungen mit Zeit- und Impulsvorwahl fest. Das Messergebnis ergibt sich aus den Ergebnissen von Messungen einer Bruttozählrate und einer Nulleffektzählrate sowie weiteren Größen aufgrund eines Modells der Auswertung. Insbesondere kann die Messgröße die Nettozählrate als Differenz der Bruttozählrate und der Nulleffektzählrate oder die Nettoaktivität einer Probe sein. Sie kann auch durch Kalibrierung der Messeinrichtung, Probenbehandlung und andere Faktoren beeinflusst sein.

ISO 11929 ist in vier Teile aufgeteilt: elementare Anwendungen in ISO 11929-1, fortgeschrittene Anwendungen auf der Grundlage von ISO/IEC Guide 98-3-1 in **ISO 11929-2**, Anwendungen auf Entfaltungsmethoden in **ISO 11929-3** und Anleitungen zur Anwendung in ISO 11929-4.

ISO 11929-1 behandelt elementare Anwendungen zählender Messungen, wie sie häufig im Bereich der Metrologie ionisierender Strahlung auftreten werden. Sie beschränkt sich auf Anwendungen, bei denen die Unsicherheiten auf der Grundlage des ISO/IEC Guide 98-3 (JCGM 2008) ermittelt werden können. In **Anhang A** der ISO 11929-1:2019 wird der spezielle Fall wiederholter zählender Messungen mit zufälligen Einflüssen und in **Anhang B** der ISO 11929-1:2019 werden Messungen mit linearen analogen Ratemetern behandelt.

Dieses Dokument erweitert die frühere ISO 11929:2010 um die Auswertung von Messungen, bei denen die Messunsicherheiten nach ISO/IEC Guide 98-3-1 ermittelt werden. Es enthält außerdem Erläuterungen zu allgemeinen Aspekten zählender Messungen und zur Anwendung der Bayes-Statistik auf Messungen.

ISO 11929-3 behandelt die Auswertung von Messungen mit Hilfe von Entfaltungsverfahren und zählende Vielkanalmessungen, falls sie mit Entfaltungsmethoden ausgewertet werden, insbesondere für alpha- und gamma-spektrometrische Messungen. Außerdem gibt **ISO 11929-3** Anleitungen, wie mit Korrelationen und Kovarianzen zu verfahren ist.

ISO 11929-4 gibt nach einer kurzen Darstellung des Verfahrens mit einer Fülle von numerischen Beispielen Anleitungen zur Anwendung der Reihe ISO 11929. Informationen über die statistischen Grundlagen von ISO 11929 und ihrer aktuellen Entwicklung können an anderer Stelle gefunden werden [30], [31].

Sinngemäß gilt die Reihe ISO 11929 auch bei anderen Messungen gleich welcher Art, wenn das selbe Modell der Auswertung anzuwenden ist. Weitere praktische Beispiele können anderen ISO-Normen entnommen werden, z. B. ISO 18589 [1], ISO 9696 [2], ISO 9697 [3], ISO 9698 [4], ISO 10703 [5], ISO 7503 [6], ISO 28218 [7], und ISO 11665 [8].

ANMERKUNG Ein Programmpaket namens UncertRadio ist für Berechnungen nach ISO 11929-1 bis **ISO 11929-3** verfügbar. UncertRadio [27], [28] kann unter <https://www.thuenen.de/de/fi/arbeitsbereiche/meeresumwelt/leitstelle-umweltraadioaktivitaet-in-fisch/uncertradio/> kostenfrei heruntergeladen werden. Der Download enthält eine Installationsdatei, die alle Dateien in einen vom Benutzer spezifizierten Ordner kopiert. Nach der Installation ist noch eine Information, die während der Installation durch ein Pop-up-Fenster angezeigt wird, zum „PFAD“ von Windows hinzuzufügen. Es kann deutsche oder englische Sprache gewählt werden^{N2} und es ist eine ausführliche „Hilfe“-Information verfügbar. Ein anderes Software-Tool ist das Programmpaket ‚metRology‘ [32] für die Programmierung in R. Es enthält die zwei R-Funktionen ‚uncert‘ und ‚uncertMC‘, die mit ISO/IEC Guide 98-3 bzw. ISO/IEC Guide 98-3-1 konforme Fortpflanzung von Unsicherheiten, entweder analytisch oder mittels Monte-Carlo-Methoden, durchführen. Kovarianzen und Korrelationen von Eingangsgrößen werden berücksichtigt. Die Anwendung dieser zwei Funktionen mit Iterationen zur Berechnung der Erkennungsgrenze und der Nachweisgrenze vereinfacht den Programmierungsaufwand beträchtlich. Es ist ebenfalls möglich, diesen Teil der ISO 11929 in eine Tabellenkalkulation, die ein Monte-Carlo-Add-in enthält, oder in andere kommerzielle Berechnungsprogramme zu integrieren.

^{N2} Nationale Fußnote: Im ISO-Original wird nur auf die Auswahlmöglichkeit der englischen Sprachfassung hingewiesen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

ISO 3534-1 *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms used in probability*

ISO 80000-1, *Quantities and units – Part 1: General*

ISO 80000-10, *Quantities and units – Part 10: Atomic and nuclear physics*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*, JCGM 100:2008

ISO/IEC Guide 98-3-1, *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ – a Propagation of distributions using a Monte Carlo method*, JCGM 101:2008

ISO/IEC Guide 98-3-2, *Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ – Models with any number of output quantities*, JCGM 102:2011

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, JCGM 200:2012

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 80000-1, ISO 80000-10, ISO/IEC Guide 98-3, ISO/IEC Guide 98-3-1, ISO/IEC Guide 98-3-2, ISO/IEC Guide 99 und ISO 3534-1 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Größenwert

Wert einer Größe

Wert

(en: quantity value, value of a quantity, value)

Zahl und Einheit, die zusammen den Wert einer Größe ausdrücken

[QUELLE: JCGM 200:2012, 1.19]

3.2

Messung

(en: measurement)

Prozess, experimentell einen oder mehrere Werte einer Größe zu bestimmen, die vernünftigerweise der Größe zugeordnet werden können

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.1]

3.3

Messgröße

(en: measurand)

zu messende Größe

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.3]

3.4

Überdeckungsintervall

(en: coverage interval)

Intervall, das den Bereich möglicher wahrer Werte der Messgröße auf der Grundlage der verfügbaren Information mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit enthält

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.36]

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Überdeckungsintervall muss nicht symmetrisch zu einem gewählten Wert der Messgröße liegen (siehe JCGM 101:2008).

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Überdeckungsintervall sollte nicht als Konfidenzintervall bezeichnet werden, um eine Verwechslung mit dem statistischen Konzept zu vermeiden.

3.5

Messmethode

Methode der Messung

(en: measurement method, method of measurement)

generische Beschreibung der logischen Organisation der Arbeitsvorgänge, die bei einer Messung ausgeführt werden

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.4]

3.6

Messverfahren

(en: measurement procedure)

genaue Beschreibung einer Messung nach einem oder mehreren Messprinzipien und einer gegebenen Messmethode, basierend auf einem Modell der Messung, einschließlich aller Berechnungen zur Erlangung eines Messergebnisses

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.6]

3.7

Messergebnis

Ergebnis der Messung

(en: measurement result, result of measurement)

Satz von Größenwerten, der einer Messgröße zuzuordnen ist, zusammen mit jeder ansonsten verfügbaren relevanten Information

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.9]

3.8

gemessener Wert einer Größe

Wert einer gemessenen Größe

Messwert

(en: measured quantity value, value of a measured quantity, measured value)

Größenwert, der das Messergebnis darstellt

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.10]

3.9

wahrer Größenwert

wahrer Wert einer Größe

wahrer Wert

(en: true quantity value, true value of a quantity, true value)

Größenwert, der konsistent mit der Definition einer Größe ist

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.11]

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Fehleransatz zur Beschreibung von Messungen wird angenommen, dass der wahre Wert eindeutig, aber in der Praxis unerkennbar ist. Im Unsicherheitsansatz ist anzuerkennen, dass es aufgrund des inhärent unvollständigen Detaillierungsgrads der Definition einer Größe einen einzigen wahren Wert nicht gibt, sondern lediglich einen Satz von wahren Werten, die mit der Definition der Größe konsistent sind. Jedoch ist dieser Satz prinzipiell und

in der Praxis unerkennbar. Andere Ansätze verzichten vollständig auf das Konzept des wahren Wertes und stützen sich auf das Konzept der metrologischen Kompatibilität von Messergebnissen für die Beurteilung ihrer Gültigkeit.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn die Unsicherheit aufgrund der Definition der Messgröße als vernachlässigbar verglichen mit anderen Komponenten der Messunsicherheit angehen werden kann, mag angenommen werden, dass die Messgröße einen „wirklichen wahren Wert“ besitzt. Das ist der Ansatz, der in ISO/IEC Guide 98-3 und dazugehörigen Dokumenten benutzt wird, wobei das Wort „wahr“ als redundant angesehen wird.

3.10

Messunsicherheit

Unsicherheit der Messung

Unsicherheit

(en: measurement uncertainty, uncertainty of measurement, uncertainty)

nicht-negativer Parameter, der die Streuung der Werte charakterisiert, die vernünftigerweise der Messgröße auf der Grundlage der benutzten Information zugeordnet werden können

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.26]

Anmerkung 1 zum Begriff: Messunsicherheiten enthalten Beiträge von systematischen Effekten, wie Korrekturen und zugewiesene Größenwerte gemessener Normale, wie auch definitorische Unsicherheiten. Manchmal werden systematische Effekte nicht korrigiert, sondern stattdessen zugeordnete Messunsicherheiten berücksichtigt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Parameter kann zum Beispiel eine Standardabweichung, genannt Standardunsicherheit, (oder ein Vielfaches davon) sein, oder die Halbwertsbreite eines Intervalls mit einer angegebenen statistischen Überdeckungswahrscheinlichkeit.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Messunsicherheit enthält üblicherweise mehrere Komponenten. Einige dieser Komponenten können aus statistischen Verteilungen als Ergebnisse von wiederholten Messungen ermittelt und als Standardunsicherheiten charakterisiert werden. Die übrigen Komponenten, die auch als Standardunsicherheiten charakterisiert werden können, werden aus Wahrscheinlichkeitsverteilungen gewonnen, die auf Erfahrung und anderen Informationen beruhen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Allgemein gilt für einen Satz von Informationen, dass die Messunsicherheit einem gemessenen Größenwert der Messgröße zugeordnet ist. Eine Veränderung dieses Größenwerts bewirkt auch eine Veränderung der zugeordneten Unsicherheit.

3.11

Modell der Auswertung

(en: model of evaluation)

Menge mathematischer Relationen zwischen allen gemessenen und anderen Größen, die bei der Auswertung der Messung einbezogen werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Modell der Auswertung muss nicht eine explizite Funktion sein. Es kann auch ein Algorithmus sein, der mit einem Computerprogramm abgearbeitet wird.

3.12

Erkennungsgrenze

(en: decision threshold)

Schätzwert der Messgröße, bei dessen Überschreitung durch ein aktuelles Ergebnis einer Messung mit einem Messverfahren, das einen physikalischen Effekt quantifiziert, man entscheidet, zu folgern, dass der physikalische Effekt vorliegt.

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn das Messergebnis y größer als die Erkennungsgrenze y^* ist, ist die Erkennungsgrenze so festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit einer falschen Entscheidung, zu folgern, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, kleiner oder gleich einem vorgegebenen Wert α ist.

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

3.13

Nachweisgrenze

(en: detection limit)

kleinster wahrer Wert der Messgröße, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit durch das Messverfahren erkannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Mit der Erkennungsgrenze nach 3.12^{N3} ist die Nachweisgrenze der kleinste wahre Wert der Messgröße, für den die Wahrscheinlichkeit für die falsche Entscheidung, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, gleich einem vorgegebenen Wert β ist, wenn der wahre Wert in Wirklichkeit nicht null ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Begriffe Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze werden in unterschiedlichen Normen nicht eindeutig verwendet, z. B. in Normen der chemischen Analytik und der Qualitätssicherung. Wenn diese Begriffe benutzt werden, ist jeweils anzugeben nach welcher Norm sie benutzt werden.

3.14

probabilistisch symmetrisches Überdeckungsintervall

(en: probabilistically symmetric coverage interval)

Überdeckungsintervall einer Messgröße mit der Eigenschaft, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert der Messgröße kleiner ist als der kleinste Wert des Intervalls, gleich der Wahrscheinlichkeit ist, dass der wahre Wert der Messgröße größer ist als der größte Wert des Intervalls

[QUELLE: JCGM 101:2008, 3.15]

3.15

kürzestes Überdeckungsintervall

(en: shortest coverage interval)

Überdeckungsintervall einer Messgröße mit der kürzesten Länge aller Überdeckungsintervalle derselben Überdeckungswahrscheinlichkeit

[QUELLE: JCGM 101:2008, 3.16]

3.16

Grenzen des Überdeckungsintervalls

(en: limits of the coverage interval)

Werte, die ein Überdeckungsintervall definieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Grenzen werden in dieser Norm so berechnet, dass das Überdeckungsintervall den wahren Wert der Messgröße mit der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit $(1-\gamma)$ enthält.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Definition des Überdeckungsintervalls ohne weitere Festlegungen ist mehrdeutig. In dieser Norm werden alternativ das probabilistisch symmetrische und das kürzeste Überdeckungsintervall benutzt.

3.17

bester Schätzwert für den wahren Wert der Messgröße

(en: best estimate of the true value of the measurand)

Erwartungswert der Wahrscheinlichkeitsverteilung des wahren Wertes der Messgröße, gegeben durch das experimentelle (primäre) Messergebnis und unter Berücksichtigung aller Informationen, die vor der Durchführung der Messung vorlagen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der beste Schätzwert ist der, der unter allen möglichen Schätzwerten der Messgröße bei gegebener Information mit der kleinsten Standardunsicherheit verbunden ist.

3.18

Richtwert

(en: guideline value)

Wert entsprechend wissenschaftlicher, gesetzlicher oder anderer Anforderungen in Bezug auf das Nachweisvermögen, der zur Beurteilung, ob ein Messverfahren für die Messgröße genügt, zum Vergleich mit der Nachweisgrenze herangezogen wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Richtwert kann z. B. als Aktivität, spezifische Aktivität oder Aktivitätskonzentration, Oberflächenaktivität oder Dosisleistung gegeben sein.

^{N3} Nationale Fußnote: Im ISO-Original wird hier fälschlicherweise auf 4.13 verwiesen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Vergleich der Nachweisgrenze mit dem Richtwert erlaubt eine Entscheidung darüber, ob das für die Messung vorgesehene Messverfahren gestellten Anforderungen genügt und damit für den Messzweck geeignet ist. Das Messverfahren genügt den Anforderungen, wenn die Nachweisgrenze kleiner ist als der Richtwert.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Richtwert darf nicht verwechselt werden mit anderen Werten zu Festlegung von Konformitätsanforderungen oder gesetzlichen Grenzwerten.

3.19

Nulleffekt

(en: background effect)

Messeffekt, der durch andere Strahlungsquellen als die des Messobjekts selbst bewirkt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Nulleffekt kann durch natürliche Strahlungsquellen oder radioaktives Material in oder in der Umgebung der Messanordnung sowie der Messprobe selbst hervorgerufen werden (z. B. aus anderen Linien im Spektrum).

3.20

Untergrund bei spektrometrischen Messungen

(en: background effect in spectrometric measurement)

Anzahl der nicht interessierenden Ereignisse im Bereich einer betrachteten Linie im Spektrum

3.21

Nettoeffekt

(en: net effect)

Beitrag der möglichen Strahlung eines Messobjekts (z. B. einer Strahlungsquelle oder eines Strahlungsfeldes) zum Messeffekt

3.22

Bruttoeffekt

(en: gross effect)

Messeffekt, der durch den Nulleffekt und den Nettoeffekt bewirkt wird

3.23

Abschirmfaktor

(en: shielding factor)

Faktor, der die Reduzierung der Nulleffektzählrate durch die Abschirmwirkung des Messobjektes beschreibt

3.24

Dämpfungszeitkonstante

(en: relaxation time constant)

Zeitdauer, in der das Ausgangssignal eines linearen Ratemeters auf das 1/e-fache des Anfangswertes abklingt, nachdem die Folge der Eingangsimpulse abgebrochen ist

4 Größen und Symbole

Die Symbole für Hilfsgrößen sowie die nur in den Anhängen benutzten Symbole sind nicht aufgeführt. Physikalische Größen werden mit Großbuchstaben bezeichnet und müssen sorgfältig von ihren Werten unterschieden werden, die mit den entsprechenden Kleinbuchstaben bezeichnet werden.

ANMERKUNG Dieses Dokument geht davon aus, dass die Messgröße einen wahren Wert besitzt, der unbekannt und unerkennbar ist. In einigen Anwendungen muss ein wahrer Wert angenommen werden.

m	Anzahl der Eingangsgrößen
n_M	Anzahl durchgeführter Monte-Carlo-Versuche
X_i	Eingangsgrößen ($i = 1, \dots, m$)
x_i	Schätzwert der Eingangsgröße X_i
$\tilde{x}_i$	möglicher wahrer Wert der Eingangsgröße X_i

$x_{1,i}, \dots, x_{n,i}$	Satz $x_1, \dots, x_n$, gezogen im i -ten Monte-Carlo-Versuch
ξ_i	Integrationsvariable möglicher wahrer Werte der Eingangsgröße X_i
$u(x_i)$	Standardunsicherheit, die dem Schätzwert x_i der Eingangsgröße X_i zugeordnet wird
Δx_i	Breite des Bereichs möglicher Werte der Eingangsgröße X_i
$u_{\text{rel}}(w)$	relative Standardunsicherheit einer Größe W , die dem Schätzwert w zugeordnet ist
G	Modellfunktion
Y	nicht-negative Messgröße, die den betrachteten physikalischen Effekt quantifiziert; auch verwendet als Symbol für eine Zufallsvariable als Schätzer der Messgröße
Y_0	Zufallsvariable als Schätzer für die Messgröße, die nicht berücksichtigt, dass die Messgröße nicht-negativ ist
$\tilde{y}$	mögliche oder wahre Werte der Messgröße; wenn der interessierende physikalische Effekt nicht vorliegt, gilt $\tilde{y} = 0$, anderenfalls $\tilde{y} > 0$
η	Integrationsvariable eines möglichen wahren Werts der Ergebnisgröße Y
y	ermittelter Wert des Schätzers Y , Schätzwert der Messgröße, primäres Messergebnis
y'	Variable zur Beschreibung möglicher Messergebnisse (Schätzwerte);
y_j	Werte y aus unterschiedlichen Messungen ($j = 0, 1, 2, \dots$)
$\tilde{y}_M = \{y_1, \dots, y_{n_M}\}$	Vektor der Ergebnisse von n_M Monte-Carlo-Versuchen
$u(y)$	Standardunsicherheit der Messgröße, zugeordnet zum primären Messergebnis
$\tilde{u}(\tilde{y})$	Standardunsicherheit des Schätzers Y als Funktion eines angenommenen wahren Werts $\tilde{y}$ der Messgröße
$f_Y(y \tilde{y})$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (en: probability density function, PDF); d. h. die bedingte Wahrscheinlichkeit von Schätzwerten y , gegeben ein angenommener wahrer Wert $\tilde{y}$ der Messgröße Y
$f_Y(\tilde{y} y)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion möglicher wahrer Werte $\tilde{y}$ der Messgröße Y , gegeben der gemessene Schätzwert y (Bayes-Statistik)
$f_Y(\tilde{y} \mathbf{a})$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion möglicher wahrer Werte $\tilde{y}$ der Messgröße Y , gegeben ein Satz an Information $\mathbf{a}$ über die Eingangsgrößen, ihre Werte und ihre Beziehungen zur Ergebnisgröße
$f_Y(\tilde{y})$	Modellprior; er repräsentiert alle verfügbare Informationen über die Messgröße, bevor die Messung durchgeführt wird
$F_Y(\tilde{y} \mathbf{a})$	Verteilungsfunktion der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f_Y(\tilde{y} \mathbf{a})$
$H(x)$	Heaviside-Stufenfunktion: $f_H(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } x < 0 \\ 1 & \text{für } x \geq 0 \end{cases}$
$\text{Ga}(\tilde{r}; n, 1/t)$	Gamma-Funktion als Wahrscheinlichkeitsdichte für den wahren Wert $\tilde{r}$ einer Zählrate R , gegeben n Zählereignisse während der Messzeit t
$N(x, u(x))$	Normal- oder Gauß-Verteilung mit den Parametern x und $u(x)$
$R(x_L, x_U)$	Rechteckverteilung mit der unteren bzw. oberen Grenze x_L bzw. x_U
$E(f_X(x))$	Erwartungswert von $f_X(x)$
$\text{Var}(f_X(x))$	Varianz von $f_X(x)$

a	Satz an Information über die Eingangsgrößen, ihre Werte und ihre Beziehungen zur Ergebnisgröße
a'	modifizierter Satz an Information über die Eingangsgrößen, ihre Werte und ihre Beziehungen zur Ergebnisgröße
$\hat{y}$	bester Schätzwert der Messgröße
$u(\hat{y})$	Standardunsicherheit der Messgröße, zugeordnet zum besten Schätzwert $\hat{y}$
y^*	Erkennungsgrenze der Messgröße
$y^\#$	Nachweisgrenze der Messgröße
y_r	Richtwert der Messgröße
$y^<, y^>$	untere bzw. obere Grenze des probabilistisch symmetrischen Überdeckungsintervalls der Messgröße
$y^{<}, y^{>}$	untere bzw. obere Grenze des kürzesten Überdeckungsintervalls der Messgröße
R_i	Zählrate als Eingangsgröße X_i
R_n	Nettoeffektzählrate
R_g	Bruttozählrate
R_0	Nulleffektzählrate
r_g, r_0	Schätzwerte der Brutto- bzw. Nulleffektzählrate
ρ_g, ρ_0	Integrationsvariablen möglicher wahrer Werte der Gesamt- und der Untergrundzählraten R_g, R_0
n_i	Anzahl der gezählten Impulse bei der Messung der Zählrate R_i
n_g, n_0	Anzahl der gezählten Impulse des Bruttoeffekts bzw. Nulleffekts
t_i	Messdauer der Zählrate R_i
t_g, t_0	Messdauer des Bruttoeffekts bzw. Nulleffekts
r_i	Schätzwert der Zählrate ρ_i
τ_g, τ_0	Dämpfungszeitkonstante eines Ratemeters bei der Messung des Bruttoeffekts bzw. Nulleffekts
α, β	Wahrscheinlichkeit einer falsch positiven bzw. falsch negativen Entscheidung
$1-\gamma$	Wahrscheinlichkeit zum Überdeckungsintervall der Messgröße
q_p	Quantil einer Verteilung zur Wahrscheinlichkeit p

5 Zusammenfassung der Verfahren zu Auswertung und Bericht zur Messunsicherheit und den charakteristischen Grenzen

Dieser Abschnitt beschreibt in kurzer Form die Verfahrensschritte, denen bei der Auswertung der Messung einer einzelnen Messgröße auf der Grundlage des ISO/IEC Guide 98-3-1 und der Berechnung der charakteristischen Grenzen, d. h. der Erkennungsgrenze, der Nachweisgrenze und den Grenzen des Überdeckungsintervalls, zu folgen ist. Das Verfahren ist allgemein anwendbar, auch in solchen Fällen, in denen die Näherungen des ISO/IEC Guide 98-3 nicht benutzt werden können oder wenn diese Methode kein Ergebnis für die Nachweisgrenze liefert.

Es wird angenommen, dass die Messgröße nicht-negativ ist. Diese Information wird lediglich bei der Berechnung des Überdeckungsintervalls, des besten Schätzwerts und der ihm zugeordneten Standardunsicherheit benutzt. Es ist ein weiteres Charakteristikum von Messungen ionisierender Strahlung, dass diese Messungen in Gegenwart eines Nulleffekts ausgeführt werden müssen, der von einer Brutto-Messgröße subtrahiert werden muss. Die Verfahren, die in dieser Norm beschrieben werden, sind gleichermaßen anwendbar auf alle Messverfahren, bei denen der Beitrag eines Untergrunds oder analytischen Blanks von einer Brutto-Messgröße subtrahiert werden muss.

Die Verfahren, die in der Reihe ISO 11929 und im ISO/IEC Guide 98-3-1 festgelegt sind, beruhen ausschließlich auf der Bayes-Statistik. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a})$, die die Unsicherheiten vollständig beschreiben, werden mit Hilfe des Prinzips der maximalen Informationsentropie (en: maximum information entropy; PME) oder des Bayes-Theorems auf der Grundlage der verfügbaren Information $\mathbf{a}$ abgeleitet. Der originale ISO/IEC Guide 98-3 ist im ISO/IEC Guide 98-3-1 als Spezialfall, dass die verfügbare Information lediglich $\mathbf{a} = \{x, u(x_i)\}$ umfasst, enthalten. Aber auch in diesem Fall hat ISO/IEC Guide 98-3-1 keine Einschränkungen in Bezug auf die Linearisierung des Modells und stellt keine Näherung dar.

In diesem Dokument wird angenommen, dass der Anwender vorab die Anwendbarkeit des ISO/IEC Guide 98-3 geprüft und entschieden hat, dass es notwendig und angemessen ist, nach ISO/IEC Guide 98-3-1 und **ISO 11929-2** vorzugehen. Bezüglich einer Anleitung hierzu siehe ISO 11929-1 **Bild 1**^{N4}.

Die Anwendung dieses Dokuments erfolgt in acht aufeinanderfolgenden Schritten. Ein detaillierter Ablaufplan für dieses Dokument ist in **Bild 1** gezeigt. Anleitung zur praktischen Anwendung von Monte-Carlo-Methoden ist in den **Abschnitten 6 bis 10** gegeben.

Die Schritte sind wie folgt:

- Schritt 1: Modellierung der Messung, beginnend mit der Definition einer nicht-negativen Messgröße Y und der Darstellung des Modells der Auswertung als Funktion $Y = G(X_1, \dots, X_m)$, wobei die Eingangsgröße X_1 den Bruttoeffekt beschreibt.
- Schritt 2: Aufstellen der gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) $f_X(\tilde{x}|\mathbf{a})$ der Eingangsgrößen X und Fortpflanzung zur PDF $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a})$ der Ergebnisgröße Y .
- Schritt 3: Auswertung der Messung durch Berechnung des primären Messergebnisses als Erwartungswert von $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a})$ und der ihm zugeordneten Standardunsicherheit als Quadratwurzel der Varianz von $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a})$.
- Schritt 4: Berechnung der Erkennungsgrenze y^* durch Iteration als das $(1-\alpha)$ -Quantil der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a}', \tilde{y}=0)$ und zu treffende Entscheidungen.
- Schritt 5: Berechnung der Nachweisgrenze $y^\#$ durch Iteration als das β -Quantil der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a}', \tilde{y}=y^\#)$ und Beurteilung des Messverfahrens.
- Schritt 6: Berechnung des Überdeckungsintervalls der Messgröße auf der Grundlage von $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a}, Y \geq 0)$ unter Berücksichtigung der Nicht-Negativität der Messgröße.
- Schritt 7: Berechnung des besten Schätzwerts der Messgröße und der ihm zugeordneten Standardunsicherheit auf der Grundlage von $f_Y(\tilde{y}|\mathbf{a}, Y \geq 0)$ unter Berücksichtigung der Nicht-Negativität der Messgröße.
- Schritt 8: Prüfbericht

ANMERKUNG Die Begriffe Wahrscheinlichkeitsverteilung, Wahrscheinlichkeitsdichte und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (en: probability density function; PDF) werden synonym für die Wahrscheinlichkeitsdichte $f_X(x)$ einer Zufalls-

variablen X benutzt. Die Verteilungsfunktion $F_X(x)$ beschreibt das Integral $F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(\xi) d\xi$.

^{N4} Nationale Fußnote: Im ISO-Original wird an dieser Stelle fälschlicherweise auf **Abschnitt 2** der ISO 11929-1 verwiesen.