



SLOVENSKI STANDARD
SIST ENV 13005:2004
01-november-2004

Vodilo za izražanje merilne negotovosti

Guide to the expression of uncertainty in measurement

Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Ta slovenski standard je istoveten z: ENV 13005:1999

[SIST ENV 13005:2004](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b7882ec5-3773-4961-8aab-d0e57f952671/sist-env-13005-2004)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b7882ec5-3773-4961-8aab-d0e57f952671/sist-env-13005-2004>

ICS:

17.020	Meroslovje in merjenje na splošno	Metrology and measurement in general
--------	-----------------------------------	--------------------------------------

SIST ENV 13005:2004

de

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

SIST ENV 13005:2004

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b7882ee5-3773-4961-8aab-d0e57f952671/sist-env-13005-2004>

EUROPÄISCHE VORNORM
EUROPEAN PRESTANDARD
PRÉNORME EUROPÉENNE

ENV 13005

Mai 1999

ICS 17.020

Deutsche Fassung

Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen

Diese Europäische Vornorm (ENV) wurde vom CEN am 17. Juni 1998 als eine künftige Norm zur vorläufigen Anwendung angenommen.

Die Gültigkeitsdauer dieser ENV ist zunächst auf drei Jahre begrenzt. Nach zwei Jahren werden die Mitglieder des CEN gebeten, ihre Stellungnahmen abzugeben, insbesondere über die Frage, ob die ENV in eine Europäische Norm umgewandelt werden kann.

Die CEN Mitglieder sind verpflichtet, das Vorhandensein dieser ENV in der gleichen Weise wie bei einer EN anzukündigen und die ENV auf nationaler Ebene unverzüglich in geeigneter Weise verfügbar zu machen. Es ist zulässig, entgegenstehende nationale Normen bis zur Entscheidung über eine mögliche Umwandlung der ENV in eine EN (parallel zur ENV) beizubehalten.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

(standards.iteh.ai)

SIST ENV 13005:2004

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b7882ee5-3773-4961-8aab-d0e57f952671/sist-env-13005-2004>



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Zentralsekretariat: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

Vorwort.....	3
0 Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Definitionen	7
2.1 Allgemeine metrologische Begriffe.....	7
2.2 Der Begriff "Meßunsicherheit"	7
2.3 Spezielle Begriffe des vorliegenden <i>Leitfadens</i>	8
3 Grundbegriffe	9
3.1 Messung.....	9
3.2 Meßabweichungen, Einflüsse und Korrekturen	10
3.3 Unsicherheit.....	11
3.4 Praktische Überlegungen	12
4 Ermittlung der Standardunsicherheit.....	14
4.1 Formulierung des Modells der Messung	14
4.2 Ermittlungsmethode A der Standardunsicherheit.....	15
4.3 Ermittlungsmethode B der Standardunsicherheit.....	17
4.4 Graphische Darstellung der Berechnung der Standardunsicherheit.....	21
5 Ermittlung der kombinierten Standardunsicherheit.....	26
5.1 Unkorrelierte Eingangsgrößen.....	26
5.2 Korrelierte Eingangsgrößen.....	29
6 Ermittlung der erweiterten Unsicherheit	32
6.1 Einleitung.....	32
6.2 Erweiterte Unsicherheit.....	32
6.3 Wahl eines Erweiterungsfaktors.....	33
7 Protokollieren der Unsicherheit.....	34
7.1 Allgemeine Anleitung.....	34
7.2 Spezielle Anleitung.....	34
8 Zusammenfassung des Verfahrens zur Ermittlung und Angabe der Unsicherheit.....	37
Anhang A Empfehlungen der Arbeitsgruppe und des CIPM	38
A.1 Empfehlung INC-1 (1980).....	38
A.2 Empfehlung 1 (CI-1981)	38
A.3 Empfehlung 1 (CI-1986).....	39
Anhang B Allgemeine metrologische Begriffe	40
B.1 Quelle für die Definitionen	40
B.2 Definitionen	40
Anhang C Grundbegriffe und Benennungen der Statistik.....	47
C.1 Quelle für die Definitionen	47
C.2 Definitionen	47
C.3 Ausführliche Erläuterung von Begriffen und Benennungen	52
Anhang D "Wahrer" Wert, Meßabweichung und Unsicherheit	56
D.1 Die Meßgröße	56
D.2 Die realisierte Größe.....	56
D.3 "Wahrer" Wert und berichteter Wert	56
D.4 Meßabweichung.....	57
D.5 Unsicherheit.....	58
D.6 Graphische Darstellung	58

Anhang E Motiv und Grundlage für die Empfehlung INC-1 (1980).....	61
E.1 " Sicher" , "zufällig" und "systematisch"	61
E.2 Rechtfertigung für realistische Unsicherheitsberechnungen	61
E.3 Rechtfertigung für die Gleichbehandlung aller Unsicherheitskomponenten.....	62
E.4 Standardabweichungen als Maße der Unsicherheit	65
E.5 Vergleich zweier Unsicherheitsauffassungen	67
Anhang F Praktische Anleitung zur Ermittlung von Unsicherheitskomponenten.....	69
F.1 Aus mehrmaligen Beobachtungen ermittelte Komponenten: Ermittlungsmethode A der Standardunsicherheit	69
F.2 Auf andere Weise ermittelte Komponenten: Ermittlungsmethode B der Standardunsicherheit.....	72
Anhang G Freiheitsgrade und Grade des Vertrauens	80
G.1 Einführung	80
G.2 Zentraler Grenzwertsatz.....	81
G.3 Die <i>t</i> -Verteilung und Freiheitsgrade	82
G.4 Effektive Freiheitsgrade.....	83
G.5 Weitere Überlegungen	85
G.6 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	87
Anhang H Beispiele.....	90
H.1 Endmaß-Kalibrierung	90
H.2 Gleichzeitige Wirk- und Blindwiderstandsmessung.....	97
H.3 Kalibrierung eines Thermometers	101
H.4 Aktivitätsmessung.....	106
H.5 Varianzanalyse.....	111
H.6 Messungen auf einer Referenzskale: Härte	117
Anhang J Verzeichnis der wichtigsten Formelzeichen.....	123
Anhang K Literaturverzeichnis	128
Stichwortverzeichnis	130

Vorwort

Diese Europäische Vornorm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 290 "Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung" erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Vornorm enthält vollinhaltlich den "Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM), der in der ISO Technical Advisory Group ISO/TAG 4 unter Mitwirkung von Fachleuten von BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP und OIML ausgearbeitet und von der ISO veröffentlicht wurde:

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Vornorm anzukündigen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Die beteiligten internationalen Organisationen haben eine Veröffentlichung als internationale Norm nicht für zweckmäßig erachtet. ISO und IEC haben diesen Leitfaden jedoch als zu beachtende Technische Regel in die ISO/IEC Directives Part 3 aufgenommen. Die Technischen Komitees von ISO und IEC müssen diesen Leitfaden bei der Ermittlung von Meßunsicherheiten zugrunde legen.

Angesichts des Mangels an einer internationalen Übereinkunft über die Angabe der Unsicherheit im Meßwesen erteilte das Internationale Komitee für Maß und Gewicht (Comité International des Poids et Mesures; CIPM) als höchste Instanz in der Metrologie, dem Internationalen Büro für Maß und Gewicht (Bureau International des Poids et Mesures; BIPM) 1977 den Auftrag, das Problem gemeinsam mit den nationalen metrologischen Instituten aufzugreifen und eine Empfehlung zu erarbeiten.

Das BIPM erstellte einen detaillierten Fragebogen zu den damit im Zusammenhang stehenden Fragen und übersandte ihn an 32 nationale metrologische Institute, die bekanntermaßen an diesem Thema interessiert waren (sowie an fünf internationale Organisationen zur Kenntnisnahme). Bis Anfang 1979 hatten 21 Institute geantwortet [1]. Nahezu alle hielten es für wichtig, ein international anerkanntes Verfahren zur Angabe der Meßunsicherheit und zur Kombination von individuellen Unsicherheitskomponenten zu einer einzigen Gesamtunsicherheit zu haben. Eine einheitliche Meinung hinsichtlich der hierfür zu benutzenden Methode war jedoch nicht ersichtlich. Das BIPM berief hierauf eine Zusammenkunft ein, an der Experten aus 11 nationalen metrologischen Instituten teilnahmen, um zu einem einheitlichen und allgemein akzeptablen Verfahren für die Angabe der Meßunsicherheit zu gelangen. Diese Arbeitsgruppe zur Angabe von Meßunsicherheiten entwickelte die Empfehlung INC-1 (1980) "Angabe von experimentellen Unsicherheiten" [2]. Das CIPM genehmigte die Empfehlung 1981 [3] und bestätigte sie 1986 [4].

Mit der Aufgabe, einen detaillierten Leitfaden auf der Grundlage der Empfehlung der Arbeitsgruppe zu erarbeiten (die eher einen kurzen Abriss als eine detaillierte Vorschrift darstellt), beauftragte das CIPM die Internationale Organisation für Normung (ISO), da diese die Erfordernisse, die aus den breiten Interessen von Industrie und Handel erwachsen, besser vertreten kann.

Die Verantwortung wurde der Technischen Beratergruppe "Metrologie" (TAG 4) der ISO zugewiesen, da es zu deren Aufgaben gehört, die Entwicklung von Richtlinien über Fragen des Meßwesens zu koordinieren, die im gemeinsamen Interesse der ISO und der sechs mit der ISO an der TAG 4 beteiligten Organisationen liegen. Diese Organisationen sind: die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC), Partner der ISO bei der weltweiten Normung; das CIPM und die Internationale Organisation für gesetzliches Meßwesen (OIML), die beiden Weltorganisationen für das Meßwesen; die Internationale Union für reine und angewandte Chemie (IUPAC) und die Internationale Organisation für reine und angewandte Physik (IUPAP), die beiden internationalen Organisationen, die die Fachgebiete Chemie und Physik vertreten; und die Internationale Föderation für klinische Chemie (IFCC).

TAG 4 bildete ihrerseits die Arbeitsgruppe 3 (ISO/TAG 4/WG 3), die sich aus vom BIPM, der IEC, der ISO und der OIML benannten und vom Vorsitzenden der TAG 4 berufenen Experten zusammensetzt. Die Aufgabenstellung für diese Arbeitsgruppe lautete:

Entwicklung eines Leitfadens auf der Grundlage der Empfehlung der BIPM-Arbeitsgruppe zur Angabe von Meßunsicherheiten, der Regeln für die Angabe der Meßunsicherheit im Bereich der Normung, Kalibrierung, Akkreditierung von Laboratorien und metrologischer Dienste bereitstellt;

Zweck eines solchen Leitfadens ist es,

- vollständig darüber zu informieren, wie man zu Unsicherheitsangaben kommt;
- eine Grundlage für den internationalen Vergleich von Meßergebnissen zu liefern.

¹ Siehe die Literaturhinweise ab Seite 98f.

0 Einleitung

0.1 Wenn das Ergebnis der Messung einer physikalischen Größe vorgelegt wird, muß auch eine quantitative Angabe zur Qualität des Ergebnisses erfolgen, damit der Benutzer dessen Zuverlässigkeit beurteilen kann. Ohne eine solche Angabe lassen sich Meßergebnisse weder miteinander noch mit Referenzwerten vergleichen, die in einer Spezifikation oder Norm vorgegeben sind. Daher wird ein einfach handhabbares, leicht verständliches und allgemein anerkanntes Verfahren zur Charakterisierung der Qualität eines Meßergebnisses, das heißt zur Ermittlung und zur Angabe seiner *Meßunsicherheit*, benötigt.

0.2 Der Begriff der *Meßunsicherheit* als quantifizierbare Eigenschaft ist relativ neu in der Geschichte des Meßwesens, obwohl *Meßabweichung* und *Fehlerrechnung* schon lange zur meßkundlichen oder metrologischen Praxis gehören. Es ist heute allgemein anerkannt, daß selbst dann, wenn alle bekannten oder vermuteten Komponenten der Meßabweichung ermittelt und die entsprechenden Korrekturen angebracht werden, eine Unsicherheit bezüglich der Richtigkeit eines angegebenen Ergebnisses verbleibt, das heißt ein Zweifel darüber, wie gut das Meßergebnis den Wert der gemessenen Größe ausdrückt.

0.3 In dem Maße, wie der nahezu weltweite Gebrauch des Internationalen Einheitensystems (SI) alle wissenschaftlichen und technischen Messungen vereinheitlicht hat, wurde eine weltweite Übereinkunft über die Ermittlung und Angabe der Meßunsicherheit erlauben, die Bedeutung eines breiten Spektrums von Meßergebnissen in der Wissenschaft, Technik und Industrie, im Handel und in Vorschriften leicht zu verstehen und richtig zu interpretieren. Im Zeitalter des Weltmarktes ist es dringend geboten, die Ermittlung und Angabe der Meßunsicherheit weltweit einheitlich zu gestalten, so daß in verschiedenen Ländern vorgenommene Messungen leicht miteinander verglichen werden können.

0.4 Die ideale Methode zur Ermittlung und Angabe der Unsicherheit eines Meßergebnisses sollte wie folgt beschaffen sein:

- *universell*: Die Methode muß auf alle Arten von Messungen und alle Typen von Eingabedaten anwendbar sein, die bei Messungen verwendet werden.

Die eigentliche Größe, um die Meßunsicherheit anzugeben, sollte wie folgt beschaffen sein:

- *in sich konsistent*: Sie muß sich direkt aus den zu ihr beitragenden Komponenten herleiten lassen und unabhängig von der Gruppierung dieser Komponenten und ihrer Zerlegung in Unterkomponenten sein.
- *übertragbar*: Es muß möglich sein, die für ein Meßergebnis ermittelte Meßunsicherheit direkt als Komponente zur Ermittlung der Meßunsicherheit bei einer anderen Messung zu verwenden, bei der das erste Ergebnis verwendet wird.

Weiterhin ist es bei vielen Anwendungen in Industrie und Handel sowie in den Bereichen Gesundheit und Sicherheit oft erforderlich, einen Bereich um das Meßergebnis anzugeben, von dem erwartet werden kann, daß er einen großen Anteil der Verteilung der Werte umfaßt, die der gemessenen Größe vernünftigerweise zugeordnet werden können. Somit sollte die ideale Methode zur Ermittlung und Angabe der Meßunsicherheit in der Lage sein, einen solchen Bereich zu liefern, insbesondere einen Bereich, dessen Überdeckungswahrscheinlichkeit oder Vertrauensniveau auf realistische Weise dem geforderten entspricht.

0.5 Das Vorgehen in diesem Leitfaden beruht auf dem Ansatz in der Empfehlung INC-1 (1980) [2] der Arbeitsgruppe zur Angabe von Unsicherheiten, die auf Veranlassung der CIPM vom BIPM einberufen wurde (siehe Vorwort). Dieser Ansatz, dessen Berechtigung in Anhang E diskutiert wird, erfüllt alle oben aufgestellten Forderungen. Für die meisten anderen derzeit verwendeten Methoden trifft dies nicht zu. Die Empfehlung INC-1 wurde vom CIPM in dessen eigenen Empfehlungen 1 (CI-1981) [3] und 1 (CI-1986) [4] genehmigt bzw. bestätigt; im Anhang A sind diese CIPM-Empfehlungen in deutscher Übersetzung wiedergegeben (siehe A.2 bzw. A.3). Da die Empfehlung INC-1 die Grundlage für das vorliegende Dokument bildet, sind ihre deutsche Übersetzung im Abschnitt 0.7 und ihr verbindlicher französischer Wortlaut im Anhang A.1 angeführt.

Seite 6

ENV 13005:1999

0.6 Das in diesem Leitfaden dargestellte Verfahren zur Ermittlung und Angabe der Meßunsicherheit wird in Kapitel 8 kurz zusammengefaßt. Eine Reihe von detaillierten Beispielen wird in Anhang H angeführt. Die übrigen Anhänge behandeln die folgenden Themen: Grundbegriffe der Metrologie (Anhang B); Grundbegriffe der Statistik (Anhang C); "wahrer" Wert, Meßabweichung und Meßunsicherheit (Anhang D); praktische Vorschläge für die Ermittlung von Unsicherheitskomponenten (Anhang F); Freiheitsgrade und Vertrauensniveaus (Anhang G); die im Dokument hauptsächlich verwendeten mathematischen Zeichen (Anhang J) und Literaturhinweise (Anhang K). Ein alphabetisches Stichwortverzeichnis beschließt das Dokument.

0.7 Empfehlung INC-1 (1980)

Angabe experimenteller Unsicherheiten

1. Die Unsicherheit eines Meßergebnisses setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die sich nach der Art, in der ihr Zahlenwert geschätzt wird, in zwei Kategorien einteilen lassen:

- A. Komponenten, die mit statistischen Methoden berechnet werden,
- B. Komponenten, die auf andere Weise ermittelt werden.

Es besteht nicht immer eine einfache Entsprechung zwischen der Zuordnung zu den Kategorien A oder B und der zuvor verwendeten Klassifizierung nach "statistischen" und "systematischen" Meßunsicherheiten. Die Benennung "systematische Meßunsicherheit" kann zu Mißverständnissen führen und sollte vermieden werden.

Jede detaillierte Angabe der Unsicherheit muß aus einer vollständigen Liste der Komponenten bestehen, wobei für jede Komponente die Methode anzugeben ist, mit der man ihren Zahlenwert erhält.

2. Die Komponenten in Kategorie A werden durch geschätzte Varianzen S_j^2 (oder "geschätzte Standardabweichungen" s_j) und die Anzahl v_j der Freiheitsgrade gekennzeichnet. Wenn erforderlich, sind auch Kovarianzen anzugeben.

3. Die Komponenten in Kategorie B sind durch Größen U_j^2 zu charakterisieren, die als Näherungen der entsprechenden Varianzen angesehen werden können, deren Existenz vorausgesetzt wird. Die Größen U_j^2 können wie Varianzen und die Größen u_j wie Standardabweichungen behandelt werden. Wenn erforderlich, sind die Kovarianzen auf die entsprechende Weise zu behandeln.

4. Die kombinierte Meßunsicherheit sollte durch den Zahlenwert gekennzeichnet werden, den man mit der üblichen Methode zur Kombination von Varianzen erhält. Die kombinierte Meßunsicherheit und ihre Komponenten sollten in der Form von "Standardabweichungen" ausgedrückt werden.

5. Wenn es bei besonderen Anwendungen erforderlich ist, die kombinierte Meßunsicherheit mit einem Faktor zu multiplizieren, um eine Gesamtunsicherheit zu erhalten, so ist der Multiplikationsfaktor stets anzugeben.

1 Anwendungsbereich

1.1 Der vorliegende *Leitfaden* stellt allgemeine Regeln zur Ermittlung und Angabe der Meßunsicherheit bereit, die auf verschiedenen Genauigkeitsniveaus in vielen Bereichen - von der Werkstatt bis zur Grundlagenforschung - befolgt werden können. Daher sollen die in diesem *Leitfaden* enthaltenen Prinzipien auf ein breites Spektrum von Messungen anwendbar sein, einschließlich solchen, die erforderlich sind:

- zur Qualitätsprüfung und Qualitätssicherung in der Produktion;
- zur Einhaltung und Durchsetzung von Gesetzen und Vorschriften;
- bei Forschungsarbeiten im Bereich der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und Entwicklung, in Wissenschaft und Technik;
- zur Kalibrierung von Normalen und Meßgeräten und zur Durchführung von Prüfungen im Rahmen eines nationalen Kalibrierdienstes, um die Rückverfolgbarkeit auf nationale Normale zu ermöglichen;
- zur Entwicklung, zum Bewahren und zum Vergleich internationaler und nationaler physikalischer Bezugsnormale einschließlich Referenzmaterialien.

1.2 Der vorliegende *Leitfaden* beschäftigt sich in erster Linie mit der Angabe der Unsicherheit bei der Messung einer wohldefinierten physikalischen Größe - der Meßgröße -, die durch einen im wesentlichen eindeutigen Wert charakterisiert werden kann. Wenn das interessierende Phänomen sich nur als Werteverteilung darstellen läßt oder von einem oder mehreren Parametern, wie zum Beispiel der Zeit, abhängig ist, dann entsprechen die zu seiner Beschreibung erforderlichen Meßgrößen der Menge von Größen, die diese Verteilung oder Abhängigkeit beschreiben.

1.3 Der vorliegende *Leitfaden* gilt auch für die Ermittlung und Angabe der Unsicherheit, die mit dem begrifflichen Ansatz und der theoretischen Analyse von Experimenten, Meßmethoden und komplexen Komponenten und Systemen verbunden ist. Da ein Meßergebnis und seine Unsicherheit rein theoretisch sein und nur auf hypothetischen Daten beruhen können, ist die in diesem *Leitfaden* verwendete Benennung "Meßergebnis" in diesem größeren Zusammenhang zu interpretieren.

1.4 Der vorliegende *Leitfaden* stellt allgemeine Regeln zur Ermittlung und Angabe der Meßunsicherheit bereit und gibt keine technikbezogenen Anweisungen. Es wird auch nicht diskutiert, wie die Unsicherheit eines bestimmten Meßergebnisses, nachdem sie einmal ermittelt wurde, für verschiedene Zwecke verwendet werden kann, zum Beispiel für Schlußfolgerungen über die Vereinbarkeit dieses Ergebnisses mit anderen ähnlichen Ergebnissen, zum Aufstellen von Toleranzgrenzen für einen Herstellungsprozeß oder für die Entscheidung darüber, ob eine bestimmte Handlungsrichtung sicher eingeschlagen werden kann. Es kann sich daher als notwendig erweisen, auf der Grundlage des vorliegenden *Leitfadens* weitere Normen zu entwickeln, die sich mit den speziellen Problemen bestimmter Bereiche des Messens oder den verschiedenen Anwendungen quantitativer Angaben der Unsicherheit befassen. Bei diesen Normen kann es sich um vereinfachte Fassungen des vorliegenden *Leitfadens* handeln. Sie müssen jedoch in ihrer Darstellung so genau sein, wie dies für den Grad der Genauigkeit und Komplexität der behandelten Messungen und Anwendungen angemessen ist.

ANMERKUNG : Es kann Situationen geben, in denen der Begriff der Meßunsicherheit nicht im vollen Umfang anwendbar erscheint, zum Beispiel wenn die Präzision eines Prüfverfahrens ermittelt wird (siehe z. B. Literaturangabe [5]).

2 Definitionen

2.1 Allgemeine metrologische Begriffe

Die Definitionen für eine Reihe von allgemeinen, für den vorliegenden *Leitfaden* relevanten Begriffen des Meßwesens, zum Beispiel "meßbare Größe", "Meßgröße" und "Meßabweichung" werden in Anhang B wiedergegeben. Diese Definitionen wurden dem *Internationalen Wörterbuch der Metrologie (International vocabulary of basic and General terms in metrology; Abk. VIM)* [6] entnommen. Anhang C enthält außerdem die Definitionen einer Reihe von Grundbegriffen der Statistik, die hauptsächlich der Internationalen Norm ISO 3534-1 [7] entstammen. Beginnend mit Abschnitt 3 erscheint im nachfolgenden Text jede dieser metrologischen und statistischen Benennungen (oder eine eng mit ihnen zusammenhängende Benennung) bei ihrer ersten Verwendung im Fettdruck, wobei die Nummer des Unterabschnitts, in dem die Definition steht, in Klammern angegeben ist.

Wegen ihrer Bedeutung für den vorliegenden *Leitfaden* wird die Definition des allgemeinen metrologischen Begriffs "Meßunsicherheit" sowohl in Anhang B als auch in Unterabschnitt 2.2.3 angegeben. Die für den vorliegenden *Leitfaden* wichtigsten Begriffe werden in den Unterabschnitten 2.3.1 bis 2.3.6 definiert. In all diesen Unterabschnitten und in den Anhängen B und C bedeutet das Einklammern bestimmter Wörter bei Benennungen, daß diese weggelassen werden können, wenn es unwahrscheinlich ist, daß es dadurch zu Unklarheiten kommt.

2.2 Der Begriff "Meßunsicherheit"

Der Begriff der Meßunsicherheit wird weiterführend in Abschnitt 3 und in Anhang D diskutiert.

2.2.1 Das Wort "Unsicherheit" bedeutet Zweifel, womit "Meßunsicherheit" im weitesten Sinne Zweifel an der Gültigkeit des Ergebnisses einer Messung bedeutet. Wegen des Fehlens verschiedener Wörter für diesen *allgemeinen Begriff* der Meßunsicherheit und die speziellen Größen, die, wie zum Beispiel die Standardabweichung, *quantitative Maße* für diesen Begriff liefern, muß das Wort "Unsicherheit" in diesen beiden verschiedenen Bedeutungen verwendet werden.

2.2.2 Wenn es ohne Adjektive gebraucht wird, bezieht sich das Wort "Unsicherheit" im vorliegenden *Leitfaden* sowohl auf den *allgemeinen Begriff* als auch auf eine oder alle *quantitativen Maße* für diesen Begriff. Wenn ein bestimmtes Maß gemeint ist, werden entsprechende Adjektive verwendet.

2.2.3 Die offizielle Definition des Begriffs "Meßunsicherheit", die für die Verwendung in diesem *Leitfaden* und in der aktuellen Ausgabe des VIM [6] (Nr 3.9) entwickelt wurde, lautet:

(Meß)unsicherheit

Dem Meßergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Meßgröße zugeordnet werden könnte

ANMERKUNGEN

1 Der Parameter kann beispielsweise eine Standardabweichung (oder ein gegebenes Vielfaches davon), oder die halbe Weite eines Bereiches sein, der ein festgelegtes Vertrauensniveau hat.

2 Meßunsicherheit enthält im allgemeinen viele Komponenten. Einige dieser Komponenten können aus der statistischen Verteilung der Ergebnisse einer Meßreihe ermittelt und durch empirische Standardabweichungen gekennzeichnet werden. Die anderen Komponenten, die ebenfalls durch Standardabweichungen charakterisiert werden können, werden aus angenommenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt, die sich auf Erfahrung oder andere Information gründen.

3 Es wird vorausgesetzt, daß das Meßergebnis der beste Schätzwert für den Wert der Meßgröße ist, und daß alle Komponenten der Unsicherheit zur Streuung beitragen, eingeschlossen diejenigen, welche von systematischen Einwirkungen herrühren, z.B. solche, die von Korrekturen und Bezugsnormen stammen.

2.2.4 Bei der im Unterabschnitt 2.2.3 gegebenen Definition der Meßunsicherheit handelt es sich um eine operative Definition, die sich auf das Meßergebnis und dessen ermittelte Unsicherheit konzentriert. Sie steht jedoch nicht im Widerspruch zu anderen Begriffen der Meßunsicherheit, wie zum Beispiel:

- Maß für die mögliche Meßabweichung des Schätzwertes der Meßgröße, der als Meßergebnis ermittelt wurde;
- Schätzwert zur Kennzeichnung eines Wertebereiches, innerhalb dessen der wahre Wert der Meßgröße liegt (VIM, 1. Auflage, 1984, Nr 3.09).

Wenngleich diese beiden traditionellen Begriffe als Idealvorstellungen gültig sind, konzentrieren sie sich auf *nicht erfassbare* Größen: die "Meßabweichung" des Meßergebnisses beziehungsweise den "wahren Wert" der Meßgröße (im Gegensatz zu deren Schätzwert). Welcher *Begriff* der Unsicherheit auch immer zugrundegelegt wird, eine Unsicherheitskomponente wird doch stets aus den gleichen Daten und zugehörigen Informationen *ermittelt*. (Siehe auch E.5)

2.3 Spezielle Begriffe des vorliegenden Leitfadens

Im allgemeinen werden die speziellen Begriffe des vorliegenden *Leitfadens* bei ihrem ersten Auftreten im Text definiert. Zum leichteren Auffinden sind die Definitionen der wichtigsten Begriffe jedoch hier aufgeführt.

ANMERKUNG : Eine weiterführende Diskussion dieser Begriffe ist an folgenden Stellen zu finden: zu 2.3.2 siehe 3.3.3 und 4.2 ; zu 2.3.3 siehe 3.3.3 und 4.3 ; zu 2.3.4 siehe Abschnitt 5 und die Gleichungen (10) und (13) ; zu 2.3.5 und 2.3.6 siehe Abschnitt 6.

2.3.1 Standardunsicherheit

Als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit des Ergebnisses einer Messung

2.3.2 Ermittlungsmethode A (der Meßunsicherheit) Methode zur Berechnung der Meßunsicherheit durch statistische Analyse von Reihen von Beobachtungen

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b7882ee5-3773-4961-8aab-022222222222>

2.3.3 Ermittlungsmethode B (der Meßunsicherheit) Methode zur Berechnung der Meßunsicherheit mit anderen Mitteln als der statistischen Analyse von Reihen von Beobachtungen

2.3.4 kombinierte Standardunsicherheit Standardunsicherheit eines Meßergebnisses, wenn dieses Ergebnis aus den Werten einer Anzahl anderer Größen gewonnen wird. Sie ist gleich der positiven Quadratwurzel einer Summe von Gliedern, wobei die Glieder Varianzen oder Kovarianzen dieser anderen Größen sind, gewichtet danach, wie das Meßergebnis mit Änderungen dieser Größen variiert.

2.3.5 erweiterte Meßunsicherheit

Kennwert, der einen Bereich um das Meßergebnis kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, daß er einen großen Anteil der Verteilung der Werte umfaßt, die der Meßgröße vernünftigerweise zugeordnet werden könnten.

ANMERKUNGEN

1 Der Anteil kann als Überdeckungswahrscheinlichkeit oder Vertrauensniveau des Bereiches angesehen werden.

2 Um dem durch die erweiterte Meßunsicherheit gekennzeichneten Bereich ein spezielles Vertrauensniveau zuzuordnen, sind explizite oder implizite Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung erforderlich, die durch das Meßergebnis und die kombinierte Standardunsicherheit charakterisiert wird. Das Vertrauensniveau, das diesem Bereich zugeordnet werden kann, kann nur in dem Maße bekannt sein, wie solche Annahmen gerechtfertigt sind.

3 Die erweiterte Meßunsicherheit wird in Abschnitt 5 der Empfehlung INC-1 (1980) *Gesamtunsicherheit* genannt.

2.3.6 Erweiterungsfaktor

Zahlenfaktor, mit dem die kombinierte Standardunsicherheit multipliziert wird, um eine erweiterte Meßunsicherheit zu erhalten

ANMERKUNG: Ein Erweiterungsfaktor k liegt typisch im Bereich 2 bis 3.

3 Grundbegriffe

Eine weiterführende Diskussion der Grundbegriffe befindet sich in Anhang D, der sich auf die Auffassungen des „wahren“ Wertes, der Meßabweichung und der Meßunsicherheit konzentriert und graphische Darstellungen dieser Begriffe enthält, sowie in Anhang E, der die Motivation und die statistische Basis für die Empfehlung INC-1 (1980) untersucht, auf der dieser *Leitfaden* beruht. Anhang J ist ein Verzeichnis der wesentlichen mathematischen Zeichen, die im vorliegenden *Leitfaden* verwendet werden.

3.1 Messung

3.1.1 Ziel einer **Messung** (B.2.5) ist die Ermittlung des **Wertes** (B.2.2) der **Meßgröße** (B.2.9), das heißt, des Wertes der **speziellen Größe** (B.2.1., Anmerkung 1), die es zu messen gilt. Eine Messung beginnt daher mit einer geeigneten Spezifizierung der Meßgröße, der **Meßmethode** (B.2.7) und des **Meßverfahrens** (B.2.8).

ANMERKUNG : "Wahrer Wert" (siehe Anhang D) wird im vorliegenden *Leitfaden* aus den in D.3.5 angegebenen Gründen nicht verwendet; "Wert einer Meßgröße" (oder einer Größe) und "wahrer Wert einer Meßgröße" (oder einer Größe) werden als gleichwertig betrachtet.

3.1.2 Im allgemeinen ist das **Meßergebnis** (B.2.1 1) lediglich eine Näherung oder ein **Schätzwert** (C.2.26) des Wertes der Meßgröße und somit nur dann vollständig, wenn es von einer Angabe der **Meßunsicherheit** (B.2.18) dieses Schätzwertes begleitet wird.

3.1.3 In der Praxis wird die geforderte Spezifizierung oder Definition der Meßgröße von der geforderten **Meßgenauigkeit** (B.2.14) diktiert. Die Meßgröße muß mit ausreichender Vollständigkeit in bezug auf die geforderte Genauigkeit festgelegt werden, so daß ihr Wert für alle mit der Messung verbundenen praktischen Zwecke eindeutig ist. Im vorliegenden *Leitfaden* wird der Ausdruck "Wert der Meßgröße" in diesem Sinne verwendet.

BEISPIEL: Wenn die Länge eines nominell 1 m langen Stahlstabes auf Mikrometer ermittelt werden soll, so muß ihre Spezifizierung die Temperatur und den Druck einschließen, unter denen die Länge gemessen wird. Somit muß die Meßgröße zum Beispiel als Länge des Stabes bei 25,00 °C und 101 325 Pa (plus weitere als notwendig erscheinende Definitionsparameter wie z.B. die Art der Auflagerung des Stahlstabes) festgelegt werden. Wenn die Länge jedoch nur auf Millimeter ermittelt werden soll, würde ihre Spezifizierung keine Festlegung der Temperatur, des Druckes oder eines Wertes für einen weiteren Definitionsparameter erfordern.

ANMERKUNG : Eine unvollständige Definition der Meßgröße kann zu einer so großen Unsicherheitskomponente führen, daß diese in die Berechnung der Unsicherheit des Meßergebnisses einbezogen werden muß (siehe D.1.1, D.3.4 und D.6.2).

3.1.4 In vielen Fällen wird das Ergebnis einer Messung auf der Grundlage von Reihen von Beobachtungen ermittelt, die unter **Wiederholbedingungen** (B.2.15, Anmerkung 1) ausgeführt wurden.

3.1.5 Es wird angenommen, daß Schwankungen bei mehrmaligen Beobachtungen dadurch entstehen, daß **Einflußgrößen**, die das Meßergebnis beeinflussen können, nicht völlig konstant gehalten werden.

3.1.6 Das mathematische Modell der Messungen, das die Menge der Werte bei mehrmaligen Beobachtungen in das Meßergebnis umwandelt, ist von entscheidender Bedeutung, da es zusätzlich zu den Beobachtungen normalerweise Einflußgrößen enthält, die nur ungenau bekannt sind. Dieser Kenntnismangel trägt zur Unsicherheit des Meßergebnisses ebenso bei wie die Schwankungen bei den mehrmaligen Beobachtungen und Unsicherheiten, die im mathematischen Modell selbst liegen.

3.1.7 Der vorliegende *Leitfaden* behandelt die Meßgröße als Skalar (eine einzelne Größe). Eine Erweiterung auf eine Menge zusammengehöriger Meßgrößen, die gleichzeitig während derselben Messung ermittelt werden, erfordert die Ersetzung der skalaren Meßgröße und ihrer **Varianz** (C.2.11, C.2.20, C.3.2) durch eine vektorielle Meßgröße und **Kovarianzmatrix** (C.3.5). Eine solche Ersetzung wird im vorliegenden *Leitfaden* nur in den Beispielen betrachtet (siehe H.2, H.3 und H.4).

3.2 Meßabweichungen, Einflüsse und Korrekturen

3.2.1 Eine Messung ist im allgemeinen mit Unvollkommenheiten verbunden, die eine **Meßabweichung** (B.2.19) im Meßergebnis hervorrufen. Eine Meßabweichung hat nach traditioneller Auffassung zwei Komponenten: eine **zufällige** (B.2.21) Komponente und eine **systematische** (B.2.22) Komponente.

ANMERKUNG: Meßabweichung ist ein Idealbegriff; Meßabweichungen können nicht genau bekannt sein.

3.2.2 Eine zufällige Meßabweichung kann durch nicht vorhersagbare oder zufällige zeitliche und räumliche Veränderungen von Einflußgrößen auftreten. Die Einflüsse solcher Veränderungen, im folgenden *zufällige Einflüsse* genannt, rufen Variationen bei mehrmaligen Beobachtungen der Meßgröße hervor. Obwohl es nicht möglich ist, die zufällige Meßabweichung eines Meßergebnisses ganz auszugleichen, läßt sie sich normalerweise durch Vergrößerung der Anzahl der Beobachtungen verringern; ihr **Erwartungswert** (C.2.9, C.3.1) ist Null.

ANMERKUNGEN:

1 Die empirische Standardabweichung eines arithmetischen Mittels oder Durchschnitts einer Reihe von Beobachtungen (siehe 4.2.3) ist *nicht* die zufällige Meßabweichung des Mittels, obwohl sie in einigen Publikationen so genannt wird. Sie ist statt dessen ein Maß für die *Unsicherheit* des Mittels aufgrund von zufälligen Einflüssen. Der genaue Wert der aus diesen Einflüssen hervorgehenden Meßabweichung kann nicht bekannt sein.

2 Im vorliegenden *Leitfaden* werden die Benennungen "Meßabweichung" und "Unsicherheit" sorgfältig unterschieden. Sie sind keine Synonyme, sondern stehen für völlig verschiedene Begriffe. Daher sollten sie weder miteinander verwechselt noch falsch gebraucht werden

(standards.iteh.ai)

3.2.3 Die systematische Abweichung kann wie die zufällige Abweichung zwar ebenfalls nicht beseitigt, aber oft verringert werden. Wenn eine systematische Abweichung von der bekannten Wirkung einer Einflußgröße auf ein Meßergebnis herrührt, die nachfolgend *systematischer Einfluß* genannt wird, läßt sich dieser Einfluß quantifizieren, und es kann, wenn er in bezug auf die geforderte Genauigkeit der Messung signifikant ist, eine **Korrektur** (B.2.23) oder ein **Korrekturfaktor** (B.2.24) angewendet werden, um den Einfluß auszugleichen. Es wird angenommen, daß der Erwartungswert einer durch einen systematischen Einfluß hervorgerufenen Meßabweichung nach Anbringen der Korrektur Null ist.

ANMERKUNG : Die Unsicherheit einer auf ein Meßergebnis angewandten Korrektur zur Berichtigung eines systematischen Einflusses ist *nicht* die durch den Einfluß bedingte systematische Abweichung des Meßergebnisses, oft auch Bias genannt, wengleich sie manchmal so benannt wird. Sie ist statt dessen ein Maß für die *Unsicherheit* des Ergebnisses aufgrund von unvollständiger Kenntnis des erforderlichen Wertes der Korrektur. Die Abweichung, die nach einer unvollkommenen Berichtigung des systematischen Einflusses verbleibt, kann nicht genau bekannt sein. Die Benennungen "Meßabweichung" und "Unsicherheit" müssen richtig verwendet und sorgfältig voneinander unterschieden werden.

3.2.4 Es wird angenommen, daß das Ergebnis einer Messung hinsichtlich aller erkannten signifikanten systematischen Einflüsse korrigiert wurde, und daß alle Anstrengungen unternommen wurden, um solche Einflüsse zu erkennen.

BEISPIEL : Eine Korrektur hinsichtlich der endlichen Impedanz eines Spannungsmeßgerätes zur Messung des Spannungsabfalls (Meßgröße) an einem hochohmigen Widerstand wird angewandt, um den systematischen Einfluß auf das Meßergebnis zu verringern, der sich aus der Belastung des Spannungsmeßgerätes ergibt. Jedoch sind die Impedanzwerte von Spannungsmeßgerät und Widerstand, die zur Schätzung des Wertes der Korrektur verwendet und aus anderen Messungen gewonnen werden, selbst unsicher. Diese Unsicherheiten werden zur Berechnung der Unsicherheitskomponente aus der Ermittlung des Spannungsabfalls verwendet, die aus der Korrektur und damit aus dem systematischen Einfluß aufgrund der endlichen Impedanz des Spannungsmeßgerätes erwächst.

ANMERKUNGEN:

1 Meßgeräte und Meßeinrichtungen werden häufig mit Hilfe von Normalen und Referenzmaterialien justiert oder kalibriert, um die systematischen Einflüsse zu eliminieren; jedoch müssen die mit diesen Normalen und Referenzmaterialien verbundenen Meßunsicherheiten immer mitberücksichtigt werden.

2 Der Fall, in dem eine Korrektur eines bekannten signifikanten systematischen Einflusses nicht angebracht wird, wird in der Anmerkung zu 6.3.1 und in F.2.4.5 diskutiert.

3.3 Unsicherheit

3.3.1 Die Unsicherheit eines Meßergebnisses spiegelt die unzureichende Kenntnis des Wertes der Meßgröße wider (siehe 2.2). Das Meßergebnis ist nach angefügter Korrektur hinsichtlich der erkannten systematischen Einflüsse immer noch nur ein *Schätzwert* der Meßgröße infolge der Unsicherheit, die sich aus zufälligen Einflüssen und unvollkommener Berichtigung des Ergebnisses hinsichtlich systematischen Einflüssen ergibt.

ANMERKUNG : Das Meßergebnis kann (nach Anbringen der Korrektur), ohne daß dies bekannt ist, dem Wert der **Meßgröße** sehr nahekommen (und damit eine vernachlässigbare Meßabweichung aufweisen), aber dennoch eine **große** Meßunsicherheit haben. Daher sollte die Unsicherheit eines Meßergebnisses nicht mit der verbleibenden unbekanntem Meßabweichung verwechselt werden.

3.3.2 In der Praxis gibt es viele mögliche Quellen für die Meßunsicherheit, zum Beispiel:

- a) unvollständige Definition der Meßgröße;
- b) unvollkommene Realisierung der Definition der Meßgröße;
- c) nichtrepräsentative Probenahme: die gemessene Probe stellt möglicherweise nicht die definierte Meßgröße dar;
- d) unzureichende Kenntnis der Einflüsse von Umweltbedingungen auf die Messung oder unvollkommene Messung der Umweltbedingungen;
- e) personell bedingte systematische Abweichungen beim Ablesen analoger Meßgeräte;
- f) endliche Auflösung oder Ansprechschwelle des Meßgeräts;
- g) ungenaue Werte von Normalen und Referenzmaterialien;
- h) ungenaue Werte von Konstanten und anderen Parametern, die aus anderen Quellen bezogen und beim Datenreduktionsalgorithmus verwendet werden;
- i) in der Meßmethode und dem Meßverfahren enthaltene Näherungen und Annahmen
- j) Variationen bei mehrmaligen Beobachtungen der Meßgröße unter scheinbar identischen Bedingungen.

Diese Quellen sind nicht unbedingt voneinander unabhängig; einige der Quellen a) bis i) können zu Quelle j) beitragen. Ein unerkannter systematischer Einfluß kann bei der Ermittlung der Unsicherheit eines Meßergebnisses nicht berücksichtigt werden, trägt jedoch zu dessen Meßabweichung bei.

3.3.3 Die Empfehlung INC-1 (1980) der Arbeitsgruppe zur Angabe von Unsicherheiten teilt die Unsicherheitskomponenten nach der Methode ihrer Ermittlung in zwei Kategorien "A" und "B" ein (siehe 0.7, 2.3.2 und 2.3.3). Diese Kategorien gelten für die *Unsicherheit* und sind kein Ersatz für die Wörter "zufällig" und "systematisch". Die Unsicherheit einer Korrektur hinsichtlich eines bekannten systematischen Einflusses kann man - genau wie die Unsicherheit, die einen zufälligen Einfluß kennzeichnet - in manchen Fällen durch eine Berechnung vom Typ A und in anderen Fällen durch eine Berechnung vom Typ B erhalten.

ANMERKUNG : In manchen Publikationen werden Unsicherheitskomponenten als "Zufällig" und als "systematisch" kategorisiert und jeweils Abweichungen zugeordnet, die entweder durch zufällige oder durch bekannte systematische Einflüsse entstehen. Eine solche Kategorisierung von Unsicherheitskomponenten kann sich bei allgemeiner Anwendung als mehrdeutig erweisen. So kann zum Beispiel eine "zufällige" Unsicherheitskomponente bei einer Messung zu einer "systematischen" Unsicherheitskomponente bei einer anderen Messung werden, bei der das Ergebnis der ersten Messung als Eingangswert verwendet wird. Durch eine Kategorisierung der *Methoden* zur Ermittlung von Unsicherheitskomponenten statt der *Komponenten* selbst wird eine solche Mehrdeutigkeit vermieden. Gleichzeitig schließt dies nicht aus, daß einzelne Komponenten, die mit Hilfe der beiden Methoden ermittelt wurden, für einen besonderen Zweck in bestimmten Gruppen zusammengefaßt werden (siehe 3.4.3).

3.3.4 Der Zweck der Klassifizierung nach Typ A und Typ B besteht in der Angabe der beiden verschiedenen Arten zur Ermittlung von Unsicherheitskomponenten und dient lediglich zur Erleichterung der Diskussion; mit der Klassifizierung soll nicht angedeutet werden, daß es irgendeinen Wesensunterschied zwischen den nach den beiden Methoden ermittelten Komponenten gibt. Beide Methoden beruhen auf **Wahrscheinlichkeitsverteilungen** (C.2.3), die mit beiden ermittelten Unsicherheitskomponenten werden durch Varianzen oder Standardabweichungen quantitativ bestimmt.

3.3.5 Die geschätzte Varianz u^2 , die eine durch Ermittlungsmethode A erhaltene Unsicherheitskomponente charakterisiert, errechnet sich aus einer Reihe von mehrmaligen Beobachtungen und ist die bekannte statistisch geschätzte Varianz s^2 (siehe 4.2). Die geschätzte **Standardabweichung** (C.2.12, C.2.21, C.3.3) u , die positive Quadratwurzel von u^2 , ist somit $u = s$ und wird manchmal kurz *Standardunsicherheit vom Typ A* genannt. Für eine durch Ermittlungsmethode B erhaltene Unsicherheitskomponente wird die geschätzte Varianz u^2 mit Hilfe verfügbarer Kenntnis (siehe 4.3) gewonnen. Die geschätzte Standardabweichung u wird manchmal *Standardunsicherheit vom Typ B* genannt.

Somit erhält man eine Standardunsicherheit vom Typ A aus einer **Wahrscheinlichkeitsdichte** (C.2.5), die von einer beobachteten **Häufigkeitsverteilung** (C.2.18) abgeleitet ist, während man eine Standardunsicherheit vom Typ B aus einer angenommenen Wahrscheinlichkeitsdichte erhält, die auf dem Überzeugtheitsgrad beruht, daß ein Ereignis eintritt [häufig subjektive **Wahrscheinlichkeit** (C.2.1) genannt]. Beide Ansätze bedienen sich anerkannter Interpretationen der Wahrscheinlichkeit.

ANMERKUNG : Eine Berechnung einer Unsicherheitskomponente vom Typ B beruht gewöhnlich auf einer Zusammenfassung von relativ zuverlässigen Informationen (siehe 4.3. 1).

3.3.6 Die Standardunsicherheit eines Meßergebnisses heißt *kombinierte Standardunsicherheit* und wird mit u_c bezeichnet, wenn das Ergebnis aus den Werten einer Reihe von anderen Größen gewonnen wurde. Dabei handelt es sich um den Schätzwert der dem Ergebnis zugeordneten Standardabweichung. Er ist gleich der positiven Quadratwurzel der kombinierten Varianz aus allen der Varianz- und Kovarianzkomponenten (C.3.4) unabhängig von deren Ermittlung und wird nach dem im vorliegenden Leitfaden Unsicherheitsfortpflanzungsgesetz (siehe Abschnitt 5) genannten Gesetz gewonnen.

3.3.7 Um den Bedürfnissen von Industrie und Handel sowie den Anforderungen der Einsatzgebiete Gesundheit und Sicherheit zu entsprechen, wird eine *erweiterte Unsicherheit* U durch Multiplizieren der kombinierten Standardunsicherheit u_c mit einem *Erweiterungsfaktor* k errechnet. Zweck von U ist es, einen Bereich um das Meßergebnis anzugeben, von dem erwartet werden kann, daß er einen großen Anteil der Werteverteilung umfaßt, die der Meßgröße vernünftigerweise zugeordnet werden kann. Die Wahl des Faktors k , der gewöhnlich zwischen 2 und 3 liegt, beruht auf der für den Bereich geforderten Überdeckungswahrscheinlichkeit oder dem Grad des Vertrauens (siehe Abschnitt 6).

ANMERKUNG : Der Erweiterungsfaktor k ist stets anzugeben, so daß die Standardunsicherheit der Meßgröße zur Berechnung der kombinierten Standardunsicherheit anderer Meßergebnisse, die von dieser Größe abhängen können, erneut ermittelt werden kann.

3.4 Praktische Überlegungen

3.4.1 Wenn alle Größen, von denen ein Meßergebnis abhängt, variiert werden, läßt sich seine Unsicherheit mit statistischen Mitteln berechnen. Da dies jedoch in der Praxis wegen begrenzter Zeit und Mittel selten möglich ist, wird die Meßunsicherheit gewöhnlich mit einem mathematischen Modell der Messung und dem Unsicherheitsfortpflanzungsgesetz berechnet. Demnach wird in dem vorliegenden *Leitfaden* implizit von der Annahme ausgegangen, daß eine Messung bis zu dem Grad mathematisch modelliert werden kann, wie dies aufgrund der geforderten Meßgenauigkeit erforderlich ist.

3.4.2 Da das mathematische Modell unvollständig sein kann, müssen alle relevanten Größen im größtmöglichen Maße variiert werden, so daß die Ermittlung der Unsicherheit so weit wie möglich auf beobachteten Daten beruht. Wo es möglich ist, sind für eine zuverlässige Berechnung der Meßunsicherheit empirische Modelle der Messung, die auf langfristigen quantitativen Daten beruhen, und Prüfnormale sowie Kontrollkarten zu verwenden, die anzeigen, ob eine Messung statistisch beherrscht wird. Das mathematische Modell muß stets überprüft werden, wenn die beobachteten Daten oder die Ergebnisse von unabhängigen Messungen derselben Meßgröße erweisen, daß das Modell unvollständig ist. Ein gut angelegtes Experiment kann die zuverlässige Berechnung der Unsicherheit sehr erleichtern und ist eine wesentliche Voraussetzung für anspruchsvolles Messen.