

DIN EN ISO 14253-2



ICS 17.040.40

Ersatz für
DIN EN ISO 14253-2:2011-11

**Geometrische Produktspezifikationen (GPS) –
Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen –
Teil 2: Anleitung zur Schätzung der Unsicherheit bei GPS-Messungen, bei
der Kalibrierung von Messgeräten und bei der Produktprüfung
(ISO 14253-2:2011);
Deutsche Fassung EN ISO 14253-2:2011**

Geometrical product specifications (GPS) –
Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment –
Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of
measuring equipment and in product verification (ISO 14253-2:2011);
German version EN ISO 14253-2:2011

Spécification géométrique des produits (GPS) –
Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure –
Partie 2: Lignes directrices pour l'estimation de l'incertitude dans les mesures GPS, dans
l'étalonnage des équipements de mesure et dans la vérification des produits
(ISO 14253-2:2011);
Version allemande EN ISO 14253-2:2011

Gesamtumfang 91 Seiten

DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 14253-2 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 213/WG 4 „Uncertainty of measurement and decision rules“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO), dessen Sekretariat von DS (Dänemark) gehalten wird, erarbeitet und als EN ISO 14253-2 durch das Technische Komitee CEN/TC 290 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 152-03-02 AA „CEN/ISO Geometrische Produktspezifikation und -prüfung“ im DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG).

ISO 14253 besteht unter dem allgemeinen Titel „*Geometrical product specification (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment*“ aus den folgenden Teilen:

- *Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications*
- *Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification*
- *Part 3: Guidelines for achieving agreements on measurement uncertainty statements*
- *Part 4: Background on functional limits and specification limits in decision rules* [Technical Specification]

Diese Berichtigung korrigiert die Abweichungen zur ISO-Fassung in den Beispielberechnungen im Anhang A und im Anhang B (Gleichungen und Werte). Das von ISO veröffentlichte Korrigendum (ISO 14253-2 Technical Corrigendum 1:2013) betraf nicht die deutsche Sprachfassung.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 1:2002	siehe DIN EN ISO 1:2002-10 ^{*)}
ISO 3650:1998	siehe DIN EN ISO 3650:1999-02
ISO 4288:1996	siehe DIN EN ISO 4288:1998-04
ISO 8015	siehe DIN EN ISO 8015
ISO 9001:2008	siehe DIN EN ISO 9001:2008-12 ^{**)}
ISO 9004:2009	siehe DIN EN ISO 9004:2009-12
ISO 14253-1:1998	siehe DIN EN ISO 14253-1:1999-03 ^{***)}
ISO 14253-3:2011	siehe DIN EN ISO 14253-3:2011-10
ISO 14660-1:1999	siehe DIN EN ISO 14660-1:1999-11 ^{****)}
ISO/IEC Guide 98-3:2008	siehe DIN V ENV 13005:1999-06 ^{*****)}
ISO/IEC Guide 99:2007	siehe Internationales Wörterbuch der Metrologie, ISBN 978-3-410-20070-3

^{*)} wurde 2016-12 mit Ersatz zurückgezogen.

^{**)} wurde 2015-11 mit Ersatz zurückgezogen.

^{***)} wurde 2013-12 mit Ersatz zurückgezogen.

^{****)} wurde 2014-06 ohne Ersatz zurückgezogen.

^{*****)} wurde 2014-10 ohne Ersatz zurückgezogen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 14253-1 Beiblatt 1:2000-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Beiblatt in Norm überführt;
- b) Inhalt vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN ISO 14253-2:2011-11 wurden folgende Korrekturen vorgenommen:

- a) Abweichungen zur ISO-Fassung, vor allem in den Beispielberechnungen im Anhang A und im Anhang B (Gleichungen und Werte), wurden korrigiert.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 14253-1 Beiblatt 1: 2000-05
DIN EN ISO 14253-2: 2011-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1:2002-10 (zurückgezogen), *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Referenztemperatur für geometrische Produktspezifikation und -prüfung (ISO 1:2002)*; Deutsche Fassung EN ISO 1:2002

DIN EN ISO 3650:1999-02, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Längennormale — Parallelendmaße (ISO 3650:1998)*; Deutsche Fassung EN ISO 3650:1998

DIN EN ISO 4288:1998-04, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4288:1996)*; Deutsche Fassung EN ISO 4288:1997

DIN EN ISO 8015, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Grundlagen — Konzepte, Prinzipien und Regeln*

DIN EN ISO 9001:2008-12 (zurückgezogen), *Qualitätsmanagementsysteme — Anforderungen (ISO 9001:2008)*; Dreisprachige Fassung EN ISO 9001:2008

DIN EN ISO 9004:2009-1, *Leiten und Lenken für den nachhaltigen Erfolg einer Organisation — Ein Qualitätsmanagementansatz (ISO 9004:2009)*; Dreisprachige Fassung EN ISO 9004:2009

DIN EN ISO 14253-1:1999-03 (zurückgezogen), *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Prüfung von Werkstücken und Meßgeräten durch Messen — Teil 1: Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen (ISO 14253-1:1998)*; Deutsche Fassung EN ISO 14253-1:1998

DIN EN ISO 14253-3:2011-10, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen — Teil 3: Richtlinien für das Erzielen einer Einigung über Messunsicherheitsangaben (ISO 14253-3:2011)*; Deutsche Fassung EN ISO 14253-3:2011

DIN EN ISO 14660-1:1999-11 (zurückgezogen), *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrieelemente — Teil 1: Grundbegriffe und Definitionen (ISO 14660-1:1999)*; Deutsche Fassung EN ISO 14660-1:1999

DIN V ENV 13005:1999-06 (zurückgezogen), *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*; Deutsche Fassung ENV 13005:1999

Internationales Wörterbuch der Metrologie, ISBN 978-3-410-20070-3

Deutsche Fassung

**Geometrische Produktspezifikationen (GPS) —
Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen —
Teil 2: Anleitung zur Schätzung der Unsicherheit bei GPS-
Messungen, bei der Kalibrierung von Messgeräten und bei der
Produktprüfung (ISO 14253-2:2011)**

Geometrical product specifications (GPS) —
Inspection by measurement of workpieces
and measuring equipment —
Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS
measurement, in calibration of measuring equipment and
in product verification (ISO 14253-2:2011)

Spécification géométrique des produits (GPS) —
Vérification par la mesure des pièces
et des équipements de mesure —
Partie 2: Lignes directrices pour l'estimation de
l'incertitude dans les mesures GPS, dans l'étalonnage des
équipements de mesure et dans la vérification des
produits (ISO 14253-2:2011)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. April 2011 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
4 Symbole	11
5 Konzept der iterativen GUM-Methode zur Einschätzung der Unsicherheit bei GPS-Messungen	12
6 Prozedur für das Unsicherheitsmanagement — PUMA.....	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Unsicherheitsmanagement bei einem vorgegebenen Messprozess	14
6.3 Unsicherheitsmanagement für die Entwicklung eines Messverfahrens/Messprozesses.....	15
7 Quellen für Messabweichungen und Unsicherheiten.....	18
7.1 Arten von Messabweichungen.....	18
7.2 Einwirkungen der Umgebung auf die Messung.....	20
7.3 Referenzelement der Messeinrichtung	20
7.4 Messeinrichtung.....	21
7.5 Messaufbau (ausgenommen die Anordnung und die Aufspannung des Werkstückes)	21
7.6 Software und Berechnungen	21
7.7 Messtechniker.....	21
7.8 Merkmale von Prüfgegenstand, Werkstück oder Messgerät.....	22
7.9 Definition des GPS-Merkmals, des Merkmals des Werkstückes oder des Messgerätes	22
7.10 Messverfahren	22
7.11 Physikalische Konstanten und Umrechnungsfaktoren.....	23
8 Mittel zur Schätzung der Unsicherheitskomponenten, der Standardunsicherheit und der erweiterten Unsicherheit	23
8.1 Schätzung der Unsicherheitskomponenten.....	23
8.2 Ermittlungsmethode A für Unsicherheitskomponenten.....	23
8.2.1 Allgemeines	23
8.2.2 Statistische Mittel	23
8.3 Ermittlungsmethode B für Unsicherheitskomponenten.....	24
8.3.1 Allgemeines	24
8.3.2 Transformationsmethode für Grenzwerte.....	24
8.4 Allgemeine Beispiele für die Ermittlungsmethoden A und B.....	25
8.4.1 Allgemeines	25
8.4.2 Versuchs- oder Grenzwert als Grundlage für die Ermittlung derselben Unsicherheitskomponente.....	26
8.4.3 Wiederholpräzision.....	26
8.4.4 Auflösung und Rundung.....	26
8.4.5 Grenzwerte für Messabweichungen (MPE).....	26
8.4.6 Korrekturen.....	27
8.4.7 Hysterese	27

8.4.8	Einflussgrößen (Temperatur, Messkraft, Messrichtung usw.)	27
8.4.9	Definition der Messgröße.....	28
8.4.10	Kalibrierscheine	28
8.4.11	Oberflächenbeschaffenheit, Formabweichungen und andere geometrische Abweichungen eines Prüfgegenstandes.....	29
8.4.12	Physikalische Konstanten	29
8.5	Black-Box- und Transparent-Box-Modell für die Schätzung der Unsicherheit	29
8.6	Black-Box-Modell zur Schätzung der Unsicherheit — Summieren von Unsicherheitskomponenten zur kombinierten Standardunsicherheit u_c	30
8.7	Transparent-Box-Modell zur Schätzung der Unsicherheit — Summieren von Unsicherheitskomponenten zur kombinierten Standardunsicherheit u_c	31
8.8	Ermittlung der erweiterten Unsicherheit U aus der kombinierten Standardunsicherheit u_c	31
8.9	Eigenschaften der Unsicherheitsparameter u_c und U	32
9	Praktische Schätzung der Unsicherheit — Unsicherheitsbilanzierung nach der PUMA-Methode.....	32
9.1	Allgemeines	32
9.2	Voraussetzungen für eine Unsicherheitsbilanz	32
9.3	Standardverfahren für Unsicherheitsbilanzierung	33
10	Anwendung	36
10.1	Allgemeines	36
10.2	Dokumentation und Ermittlung des Unsicherheitswertes	37
10.3	Darstellung und Dokumentation des Mess- oder Kalibrierverfahrens.....	37
10.3.1	Dokumentation und Optimierung von Mess- und Kalibriervorgängen	37
10.3.2	Entwicklung von Messverfahren und Messanweisungen.....	37
10.3.3	Entwicklung von Kalibrierverfahren und Kalibrieranweisungen	37
10.3.4	Eignung oder Nichteignung von untergeordneten Messverfahren und Messeinrichtungen	37
10.3.5	Eignung der Messeinrichtung und des Messaufbaues	38
10.3.6	Angabe der kleinsten angebbaren Messunsicherheit (BMC).....	38
10.4	Aufbau, Optimierung und Dokumentation der Kalibrierkette.....	38
10.4.1	Aufbau der Kalibrierkette.....	38
10.4.2	Anforderungen und Eignung von Normalen.....	38
10.4.3	Anforderungen an und Eignung von externen Kalibrierzertifikaten.....	38
10.4.4	Bewertung der Anwendung von Prüfnormalen	39
10.5	Aufbau und Dokumentation einer neuen Messeinrichtung	39
10.5.1	Spezifikation für eine neue Messeinrichtung.....	39
10.5.2	Aufbau einer speziellen Messeinrichtung	39
10.6	Anforderung an die Umwelt und deren Eignung	39
10.7	Anforderung an das Personal und dessen Eignung für die Messung.....	39
	Anhang A (informativ) Beispiel für Unsicherheitsbilanzen — Kalibrierung eines Einstellringes	42
A.1	Übersicht	42
A.2	Messaufgabe und Zielunsicherheit	42
A.2.1	Messaufgabe	42
A.2.2	Zielunsicherheit.....	42
A.3	Prinzip, Methode, Verfahren und Bedingung.....	42
A.3.1	Messprinzip	42
A.3.2	Messmethode	42
A.3.3	Erste Vorgaben für das Messverfahren	42
A.3.4	Erste Vorgaben für die Messbedingungen.....	43
A.4	Darstellung des Messaufbaus.....	43
A.5	Liste und Diskussion der Unsicherheitskomponenten	44
A.6	Erste Iteration.....	45
A.6.1	Erste Iteration; Dokumentation und Berechnung der Unsicherheitskomponenten.....	45

A.6.2	Erste Iteration; Korrelation zwischen den Unsicherheitskomponenten.....	46
A.6.3	Erste Iteration; Kombinierte und erweiterte Unsicherheit.....	46
A.6.4	Zusammenfassung der Unsicherheitsbilanz; erste Iteration	47
A.6.5	Erste Iteration; Diskussion der Unsicherheitsbilanz	47
A.6.6	Schlussfolgerung nach der ersten Iteration.....	48
A.7	Zweite Iteration.....	48
A.8	Schlussfolgerung nach der zweiten Iteration.....	48
A.9	Kommentare; Zusammenfassung des Beispiels.....	48
Anhang B (informativ) Beispiel für Unsicherheitsbilanzen — Entwicklung einer Kalibrierkette.....		50
B.1	Übersicht.....	50
B.2	Messung eines örtlichen Durchmessers.....	53
B.2.1	Messaufgabe und Zielunsicherheit	53
B.2.2	Prinzip, Methode und Bedingungen	53
B.2.3	Darstellung des Messaufbaus.....	54
B.2.4	Liste und Diskussion der Unsicherheitskomponenten	54
B.2.5	Erste Iteration.....	55
B.2.6	Zweite Iteration.....	61
B.3	Kalibrieren einer Bügelmessschraube (Messabweichung)	61
B.3.1	Anforderungen	61
B.3.2	Messaufgabe und Zielunsicherheit	61
B.3.3	Prinzip, Methode, Verfahren und Bedingungen	62
B.3.4	Darstellung des Messaufbaus.....	62
B.3.5	Liste und Diskussion der Unsicherheitskomponenten	63
B.3.6	Erste Iteration.....	63
B.3.7	Zweite Iteration.....	65
B.4	Prüfen der Ebenheit der Messflächen	66
B.4.1	Messaufgabe und Zielunsicherheit	66
B.4.2	Prinzip, Methode, Messvorgang und Bedingung.....	66
B.4.3	Darstellung des Messaufbaus.....	67
B.4.4	Liste und Diskussion der Unsicherheitskomponenten	67
B.4.5	Erste Iteration.....	67
B.4.6	Zweite Iteration.....	69
B.5	Prüfen der Parallelität der Messflächen	69
B.5.1	Messaufgabe und Zielunsicherheit	69
B.5.2	Prinzip, Methode, Messvorgang und Bedingung.....	69
B.5.3	Darstellung des Messaufbaus.....	70
B.5.4	Liste und Diskussion der Unsicherheitskomponenten	70
B.5.5	Erste Iteration.....	71
B.5.6	Zweite Iteration.....	73
B.6	Anforderungen an die Kalibriernormale.....	73
B.6.1	Endmaße (siehe Beispiel B.3)	73
B.6.2	Planglasplatte (siehe Beispiel B.4).....	74
B.6.3	Planparallele Prüfgläser (siehe Beispiel B.5)	75
B.7	Anwendung eines Prüfnormals als eine Ergänzung der Kalibrierung.....	75
Anhang C (informativ) Beispiel für Unsicherheitsbilanzen — Rundheitsmessung		78
C.1	Messaufgabe und Zielunsicherheit	78
C.1.1	Messaufgabe	78
C.1.2	Zielunsicherheit.....	78
C.2	Prinzip, Methode, Verfahren und Bedingung.....	78
C.2.1	Messprinzip	78
C.2.2	Messmethode	78
C.2.3	Messverfahren	78
C.2.4	Messbedingungen.....	78
C.3	Darstellung des Messaufbaus.....	79
C.4	Liste und Diskussion der Unsicherheitskomponenten	80

C.5	Erste Iteration.....	80
C.5.1	Erste Iteration; Dokumentation und Berechnung der Unsicherheitskomponenten.....	80
C.5.2	Erste Iteration; Korrelation zwischen Unsicherheitskomponenten	82
C.5.3	Erste Iteration; kombinierte und erweiterte Unsicherheit	82
C.5.4	Zusammenfassung der Unsicherheitsbilanz; erste Iteration.....	83
C.5.5	Erste Iteration; Diskussion der Unsicherheitsbilanz, Schlussfolgerung.....	83
C.5.6	Schlussfolgerung nach der ersten Iteration	83
C.6	Zweite Iteration.....	84
Anhang D (informativ) Beziehung zum GPS-Matrix-Modell		85
D.1	Allgemeines	85
D.2	Information über diesen Teil von ISO 14253 und seine Anwendung	85
D.3	Lage im GPS-Matrix-Modell.....	86
D.4	Betroffene Internationale Normen	86
Literaturhinweise.....		87

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 14253-2:2011) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 213 „Dimensional and geometrical product specifications and verification“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 290 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2011, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2011 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt ENV ISO 14253-2:2001.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 14253-2:2011 wurde von CEN als EN ISO 14253-2:2011 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Dieser Teil von ISO 14253 ist eine globale GPS-Norm (siehe ISO/TR 14638:1995). Er beeinflusst Kettenglieder 4, 5 und 6 aller Normenketten.

Der ISO-GPS-Masterplan in ISO/TR 14638 gibt einen Überblick über das ISO-GPS-System, von dem dieses Dokument ein Teil ist. Die grundlegenden ISO-GPS-Regeln nach ISO 8015 gelten für dieses Dokument, und die Standard-Entscheidungsregeln nach ISO 14253-1 gelten für Festlegungen, die nach diesem Dokument getroffen werden, wenn nichts anderes angegeben ist.

Für weitere, detaillierte Information zum Zusammenhang dieser Internationalen Norm mit anderen Normen und dem GPS-Matrix-Modell, siehe Anhang D.

Dieser Teil von ISO 14253 ist zur Untermauerung von ISO 14253-1 entwickelt worden. Er führt ein vereinfachtes, iteratives Verfahren — sowohl als Konzept als auch in der praktischen Durchführung — zur Ermittlung und Schätzung der Unsicherheit (Standardunsicherheit und erweiterte Unsicherheit) von Messungen ein und gibt Empfehlungen, wie Angaben zur Unsicherheit nach dem „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ (GUM) als Dokumentation und Bericht aufgebaut werden können. In den meisten Fällen sind nur begrenzte Mittel zur Schätzung der Unsicherheit durch dieses vereinfachte, iterative Verfahren notwendig, jedoch kann das Verfahren zu einer leichten Vergrößerung der Schätzung der Unsicherheit führen. Wenn eine genauere Schätzung der Unsicherheit benötigt wird, müssen die ausführlicheren Verfahren des GUM angewendet werden.

Dieses vereinfachte, iterative Verfahren der GUM-Methode ist für GPS-Messungen gedacht, kann aber ebenfalls in anderen Bereichen der industriellen (angewandten) Messtechnik verwendet werden.

Die Messunsicherheit und das Konzept zur Handhabung der Messunsicherheit sind für alle technischen Aufgaben in einem Unternehmen wichtig. Dieser Teil von ISO 14253 ist von Bedeutung für mehrere technische Bereiche, einschließlich Management, Konstruktion und Entwicklung, Produktion, Qualitätssicherung, Messtechnik usw.

Dieser Teil von ISO 14253 ist besonders wichtig in Verbindung mit ISO-9000-Qualitätsmanagementsystemen, z. B. ist es eine Forderung, dass Überwachungs- und Messmethoden der Qualitätsmanagementsystem-Prozesse geeignet sind. Die Messunsicherheit ist ein Maß für die Eignung eines Prozesses.

In diesem Teil von ISO 14253 wird die Unsicherheit des Ergebnisses einer Kalibrierung und einer Messung in gleicher Weise behandelt:

- Kalibrierung wird als „Messung von messtechnischen Merkmalen einer Messeinrichtung oder eines Normals“ betrachtet,
- Messung wird als „Messung von geometrischen Merkmalen eines Werkstückes“ angesehen.

Daher wird im Text in den meisten Fällen nicht zwischen „Messung“ und „Kalibrierung“ unterschieden. Der Begriff „Messung“ wird als Synonym für beide Begriffe verwandt.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 14253 enthält eine Anleitung für die Einführung des Konzepts des „Leitfadens zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ (abgekürzt GUM), welcher in der Industrie bei der Kalibrierung von Normalen und Messeinrichtungen im GPS-Bereich und bei der Messung von Werkstück-GPS-Merkmalen angewendet werden soll. Ziel ist es, eine vollständige Information darüber zu geben, wie die Angaben zur Unsicherheit ermittelt werden können, sowie die Schaffung einer Grundlage für den internationalen Vergleich von Messergebnissen und deren Unsicherheit (Beziehung zwischen Abnehmer und Hersteller).

Dieser Teil von ISO 14253 soll ISO 14253-1 unterstützen und ist mit ISO 14253-1 für alle technischen Aufgaben in einem Unternehmen entsprechend der geometrischen Produktspezifikationen (d. h. für Toleranzen der Merkmale von Werkstücken und den Werten der Fehlergrenzen (MPE) für messtechnische Merkmale von Messeinrichtungen) nützlich.

Dieser Teil von ISO 14253 führt eine Prozedur für das Unsicherheits-MAnagement — PUMA — ein. Es handelt sich um ein praktisches, iteratives, auf dem GUM basierendes Verfahren zur Schätzung der Unsicherheit ohne Änderung des Grundlagenkonzeptes von GUM und soll allgemein zur Schätzung der Messunsicherheit und zur Angabe der Unsicherheit in folgenden Teilen dienen:

- Einzelmessergebnisse;
- den Vergleich von zwei oder mehreren Messergebnissen;
- den Vergleich von Messergebnissen — eines oder mehrerer Werkstücke oder Messeinrichtungen — mit gegebenen Spezifikationen (d. h. die Fehlergrenzen [MPE] eines messtechnischen Merkmals eines Messgerätes oder eines Normalen und die Toleranzgrenzen eines Werkstückmerkmals usw.), um Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit der Spezifikation festzustellen.

Die iterative Methode gründet hauptsächlich auf einer „Strategie der oberen Grenze“, d. h. auf zu hohen Schätzungen der Unsicherheit auf allen Ebenen, wobei die Iterationen die Größe der zu hohen Schätzungen regulieren. Eine absichtlich zu hohe Schätzung — doch keine „zu niedrige Schätzung“ — ist notwendig, damit auf Messergebnissen basierende falsche Entscheidungen verhindert werden können. Die Größe der zu hohen Schätzung wird durch eine wirtschaftliche Bewertung der Situation gesteuert.

Die iterative Methode ist ein Mittel zur Gewinnsteigerung und zur Minimierung der Kosten messtechnischer Aktivitäten in einem Unternehmen. Die iterative Methode reguliert sich wirtschaftlich selbst und kann bestehende Messunsicherheiten ändern oder reduzieren, um dadurch die Kosten der Messtechnik bei der Produktion zu verringern. Durch die iterative Methode entsteht ein Ausgleich zwischen Risiko, Aufwand und Kosten bei der Schätzung der Unsicherheit und der Unsicherheitsbilanzierung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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).

ISO 14253-1:1998, *Geometrical Product Specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications*

ISO 14660-1:1999, *Geometrical Product Specifications (GPS) — Geometrical features — Part 1: General terms and definitions*

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

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 14253-1, ISO 14660-1, ISO/IEC Guide 98-3, ISO/IEC Guide 99 und die folgenden Begriffe.

3.1

Black-Box-Modell für die Schätzung der Unsicherheit

Modell für die Schätzung der Unsicherheit, bei dem die Unsicherheiten der Eingangsgrößen direkt durch ihren Einfluss auf den einer Messgröße zugewiesenen Wert dargestellt werden (in den Einheiten der Messgröße)

ANMERKUNG 1 Der „einer Messgröße zugewiesene Wert“ ist typischerweise ein Messwert.

ANMERKUNG 2 In vielen Fällen kann eine komplexe Messmethode als eine einzelne Black-Box mit Eingabe und Ausgabe betrachtet werden. Wenn eine Black-Box geöffnet wird, kann sich zeigen, dass sie mehrere „kleinere“ Black-Boxen oder verschiedene Transparent-Boxen oder beides enthält.

ANMERKUNG 3 Die Methode zur Schätzung der Unsicherheit bleibt ein Black-Box-Modell, auch wenn es erforderlich ist, zusätzliche Messungen zur Ermittlung der Werte von Einflussgrößen vorzunehmen, um damit zusammenhängende Korrekturen anbringen zu können.

3.2

Transparent-Box-Modell für die Schätzung der Unsicherheit

Modell für die Schätzung der Unsicherheit, bei dem die Beziehung zwischen den Eingangsgrößen und dem einer Messgröße zugewiesenen Wert explizit durch Gleichungen oder Algorithmen ausgedrückt wird

3.3

Messaufgabe

Quantifizierung einer Messgröße entsprechend ihrer Definition

3.4

Gesamtmessaufgabe

Messaufgabe, die die abschließende Messgröße quantifiziert

3.5

Zwischenmessaufgabe

Messaufgabe, die durch Aufteilung der Gesamtmessaufgabe in einfachere Teile erhalten wird

ANMERKUNG 1 Aufteilung der Gesamtmessaufgabe dient dem Ziel, die Auswertung der Messunsicherheit zu vereinfachen.

ANMERKUNG 2 Die Aufteilungen sind willkürlich, ebenso wie ein Aufteilen überhaupt.

3.6

Zielunsicherheit

U_T

<Messung oder Kalibrierung> Unsicherheit, die als Optimum für die Messaufgabe festgelegt wird

ANMERKUNG 1 Die Zielunsicherheit ist das Ergebnis einer Managemententscheidung, die z. B. Konstruktion, Produktion, Qualitätssicherung, Dienstleistung, Marketing, Verkauf und Vertrieb einbezieht.

ANMERKUNG 2 Bei der Festlegung (Optimierung) der Zielunsicherheit sind die Spezifikation (Toleranz oder Fehlergrenzen [MPE]), die Möglichkeiten, die Kosten und die Schwierigkeiten des Verfahrens und die Anforderungen von ISO 9001, ISO 9004-1 und ISO 14253-1 zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 3 Siehe auch 8.8.

3.7 **geforderte Unsicherheit**

U_R

Unsicherheit, gefordert für ein Messverfahren und eine Messaufgabe

ANMERKUNG Siehe auch 6.2. Die geforderte Unsicherheit darf z. B. durch einen Kunden festgelegt werden.

3.8 **Unsicherheitsmanagement**

Verfahren, mit dem, ausgehend von der Messaufgabe und der Zielunsicherheit, ein adäquates Messverfahren unter Verwendung von Methoden der Unsicherheitsbilanzierung abgeleitet wird

3.9 **Unsicherheitsbilanz**

<Messung oder eine Kalibrierung> Aussage, die die Schätzungen der zur Unsicherheit eines Messergebnisses beitragenden Unsicherheitskomponenten zusammenfasst

ANMERKUNG 1 Die Unsicherheit eines Messergebnisses ist nur dann eindeutig, wenn das Messverfahren (einschließlich Prüfgegenstand, Messgröße, Messmethode und Messbedingungen) definiert ist.

ANMERKUNG 2 Die Benennung „Bilanz“ wird für die Zuordnung von Zahlenwerten zu den Unsicherheitskomponenten, deren Kombination und Erweiterung basierend auf dem Messverfahren, den Messbedingungen und -annahmen, verwendet.

3.10 **Unsicherheitsverursacher**

xx

Quelle der Messunsicherheit für einen Messprozess

3.11 **Grenzwert für den Unsicherheitsverursacher**

a_{xx}

absoluter Wert des extremen Wertes/der extremen Werte der Quelle der Messunsicherheit xx

3.12 **Unsicherheitskomponente**

u_{xx}

Standardunsicherheit der Quelle der Messunsicherheit xx

ANMERKUNG Die Iterationsmethode verwendet die Bezeichnung u_{xx} für alle Unsicherheitskomponenten.

3.13 **Einflussgröße des Messgerätes**

Merkmal eines Messgerätes, welches das Messergebnis einer mit diesem Messgerät durchgeführten Messung beeinflusst

3.14 **Einflussgröße des Werkstückes**

Merkmal eines Werkstückes, welches das Messergebnis einer an diesem Werkstück durchgeführten Messung beeinflusst

4 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole nach Tabelle 1.

Tabelle 1 — Allgemeine Symbole

Symbol/ Abkürzung	Bedeutung
a	Grenzwert einer Verteilung
a_{xx}	Grenzwert für eine Abweichung oder die Unsicherheitskomponente (in der Einheit des Messergebnisses/der Messgröße)
a_{xx}^*	Grenzwert für eine Abweichung oder die Unsicherheitskomponente (in der Einheit der Einflussgröße)
α	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
b	Koeffizient der Transformation von a_{xx} nach u_{xx}
C	Korrektur (Wert)
d	Auflösung einer Messeinrichtung
E	Elastizitätsmodul
ER	Abweichung (Messwert)
G	Funktion verschiedener Messwerte [$G(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots)$]
h	Hysterese (Wert)
k	Erweiterungsfaktor
m	Anzahl der Standardabweichungen in der Hälfte eines Vertrauensbereiches
MR	Messergebnis (Wert)
n	Anzahl der ...
N	Anzahl der Iterationen
ν	Poisson-Zahl
p	Anzahl der vollständig unkorrelierten Unsicherheitskomponenten
r	Anzahl der vollständig korrelierten Unsicherheitskomponenten
ρ	Korrelationskoeffizient
t	Sicherheitsfaktor, basierend auf der Student- t -Verteilung
TV	wahrer Wert der Messgröße
u, u_i	Standardunsicherheit (Standardabweichung)
s_x	empirische Standardabweichung einer Stichprobe
$s_{\bar{x}}$	empirische Standardabweichung des Mittelwertes einer Stichprobe
u_c	kombinierte Standardunsicherheit
u_{xx}	Standardabweichung des Unsicherheitsverursachers xx — Unsicherheitskomponente
U	erweiterte Messunsicherheit
U_A	wahre Messunsicherheit
U_C	richtige Messunsicherheit

Symbol/ Abkürzung	Bedeutung
U_E	angenäherte Messunsicherheit (Anzahl der Iterationen ist nicht angegeben)
U_{EN}	angenäherte Messunsicherheit der Iteration Nummer N
U_R	geforderte Messunsicherheit
U_T	Zielunsicherheit
U_V	Unsicherheitswert (nicht nach GUM oder diesem Teil von ISO 14253 geschätzt)
X	Messergebnis (unkorrigiert)
X_i	Messergebnis (im Transparent-Box-Modell für die Unsicherheitsschätzung)
Y	Messergebnis (korrigiert)

5 Konzept der iterativen GUM-Methode zur Einschätzung der Unsicherheit bei GPS-Messungen

Die vollständige Anwendung der GUM-Methode führt zur richtigen Unsicherheit U_C .

Bei der vereinfachten iterativen Methode nach diesem Teil von ISO 14253 soll die Schätzung der Messunsicherheiten U_E durch eine bewusste Größerschätzung der beeinflussenden Unsicherheitskomponenten ($U_E \geq U_C$) erreicht werden. Durch den Vorgang der Größerschätzung ergeben sich für jede bekannte oder vorhersehbare Unsicherheitsursache durch die Annahme des jeweils ungünstigsten Falles Werte an der oberen Grenze, die sicherstellen, dass die Ergebnisse der Schätzungen auf der sicheren Seite liegen, d. h., die Messunsicherheit wird nicht zu klein geschätzt. Die Methode basiert auf dem Folgenden:

- Alle Unsicherheitskomponenten sind bekannt.
- Es ist entschieden, welche der möglichen Korrekturen durchgeführt werden müssen (siehe 8.4.6).
- Der Einfluss auf die Messunsicherheit durch jeden Unsicherheitsverursacher ist als Standardunsicherheit u_{xx} , auch Unsicherheitskomponente, ermittelt.
- Ein Iterationsprozess nach der PUMA-Methode (siehe Abschnitt 6) wird durchgeführt.
- Ermitteln der einzelnen Unsicherheitskomponenten (Standardunsicherheiten) u_{xx} entweder durch die Ermittlungsmethode A oder durch die Ermittlungsmethode B.
- Ermittlungsmethode B wird nach Möglichkeit bevorzugt, um eine grobe Unsicherheitsschätzung zu erhalten zwecks Überblick und Kostenersparnis.
- Der Gesamteffekt aller Unsicherheitskomponenten (bezeichnet als kombinierte Standardunsicherheit) wird nach der Gleichung (1) berechnet:

$$u_c = \sqrt{u_{x1}^2 + u_{x2}^2 + u_{x3}^2 + \dots + u_{xn}^2} \quad (1)$$

- Die Gleichung (1) ist nur für das Black-Box-Modell zur Schätzung der Unsicherheit und für den Fall, dass die Komponenten u_{xx} alle unkorreliert sind, gültig (weitere Angaben und Gleichungen siehe 8.6 und 8.7).

— Zur Vereinfachung werden lediglich die Korrelationskoeffizienten

$$\rho = 1, -1, 0 \quad (2)$$

zwischen den Unsicherheitskomponenten in Betracht gezogen.

Wenn nicht feststeht, dass die Unsicherheitskomponenten unkorreliert sind, wird vollständige Korrelation angenommen, entweder $\rho = 1$ oder $\rho = -1$. Korrelierte Komponenten werden arithmetisch addiert bevor sie in die oben angegebene Gleichung aufgenommen werden (siehe 8.5 und 8.6).

— Die erweiterte Unsicherheit U wird durch die Gleichung (3) berechnet:

$$U = k \times u_c \quad (3)$$

wobei $k = 2$; k ist der Erweiterungsfaktor (siehe auch 8.8) ist.

Üblicherweise werden mindestens zwei Iterationen bei der Schätzung der Unsicherheitskomponenten durch die vereinfachte iterative Methode durchgeführt.

- a) Die erste sehr grobe, zeit- und kostensparende Iteration dient zur Ermittlung der größten Unsicherheitskomponenten (siehe Bild 1).
- b) Folgende Iterationen, sofern sie durchgeführt werden, dienen nur dem Zweck der genaueren Schätzung der oberen Grenzen der größten Unsicherheitskomponenten, um die geschätzten Unsicherheiten (u_c und U) auf einen möglichst akzeptablen Wert zu senken.

Die vereinfachte, iterative Methode kann für zwei Zwecke verwendet werden:

- 1) Unsicherheitsmanagement nach 6.2 für das Ergebnis eines gegebenen Messprozesses (kann für die Ergebnisse eines bekannten Messprozesses oder für den Vergleich zweier oder mehrerer solcher Ergebnisse verwendet werden);
- 2) Unsicherheitsmanagement nach 6.3 für einen Messprozess. Entwickeln eines adäquaten Messprozesses, d. h. $U_E \leq U_T$.

6 Prozedur für das Unsicherheitsmanagement — PUMA

6.1 Allgemeines

Die Voraussetzung für Unsicherheitsbilanzierung und -management ist eine eindeutig bestimmte und definierte Messaufgabe; d. h. die zu ermittelnde Messgröße (ein GPS-Merkmal eines Werkstückes oder ein messtechnisches Merkmal einer GPS-Messeinrichtung). Die Messunsicherheit ist ein Maß für die Qualität des gemessenen Wertes nach den Definitionen für ein GPS-Merkmal des Werkstückes oder für ein messtechnisches Merkmal der GPS-Messeinrichtung, die in den GPS-Normen angegeben sind.

GPS-Normen definieren die „richtigen Werte“ der Merkmale, die von Normenketten und allgemeinen Normen beurteilt werden sollen (siehe ISO/TR 14638). GPS-Normen definieren in vielen Fällen auch das ideale — oder richtige — Messprinzip (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.4), die ideale — oder richtige — Messmethode (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.5), das ideale — oder richtige — Messverfahren (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.6) und die idealen — oder richtigen — „Referenzbedingungen“ (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 4.11).

Abweichungen von den festgelegten richtigen Werten der Merkmale usw. (dem idealen Operator) tragen zur Messunsicherheit bei.

6.2 Unsicherheitsmanagement bei einem vorgegebenen Messprozess

Das Unsicherheitsmanagement für eine gegebene Messaufgabe (Box 1 in Bild 1) und für einen bestehenden Messprozess ist in Bild 1 dargestellt. Das Messprinzip (Box 3), die Messmethode (Box 4), das Messverfahren (Box 5) und die Messbedingungen (Box 6) sind fest und für diesen Fall gegeben oder festgelegt — und können nicht verändert werden. Die einzige Aufgabe in diesem Fall ist die Ermittlung des Einflusses dieser Faktoren auf die Messunsicherheit. Ein gefordertes U_R kann vorgegeben sein oder festgelegt werden.

Bei der Verwendung der iterativen Methode dient die erste Iteration nur der Orientierung und dazu, die dominierenden Unsicherheitskomponenten herauszufinden. Das einzige, worauf es beim Unsicherheitsmanagement in diesem Fall ankommt, ist das Ermitteln der dominierenden Komponenten aus der Schätzung, um einer wahren Schätzung der Unsicherheitskomponenten nahezukommen und dadurch — falls dies notwendig sein sollte — eine zu hohe Schätzung zu vermeiden.

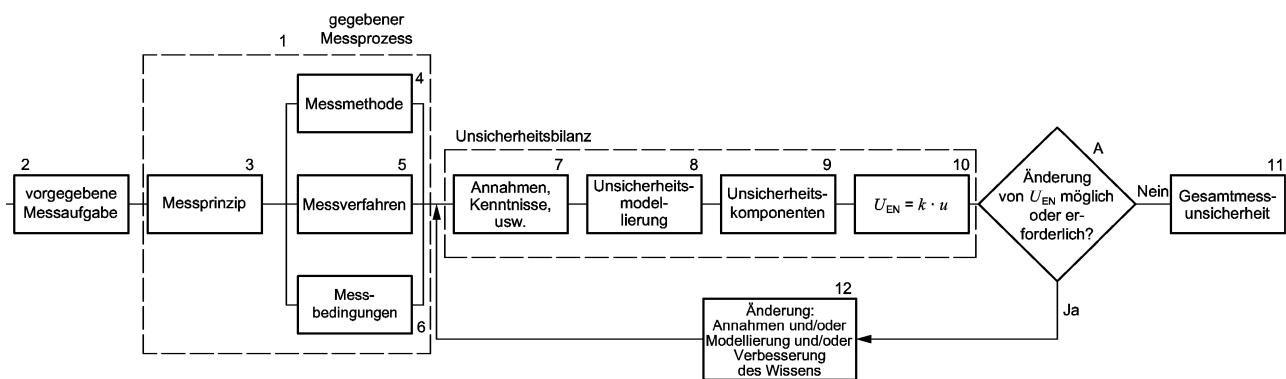


Bild 1 — Unsicherheitsmanagement für das Messergebnis eines gegebenen Messprozesses

Der Ablauf des Verfahrens ist wie folgt:

- a) Durchführen einer ersten Iteration und Einrichten einer Anfangs-Unsicherheitsbilanz vorzugsweise nach dem Black-Box-Modell der Schätzung der Unsicherheit (Boxen 7 bis 9). Dies führt zur ersten groben Schätzung der erweiterten Unsicherheit U_{E1} (Box 10). Für Einzelheiten über die Schätzung der Unsicherheit siehe Abschnitt 9. Alle Schätzungen der Unsicherheit U_{EN} werden als „Obere-Grenze-Schätzung“ durchgeführt.
- b) Vergleich der ersten geschätzten Unsicherheit U_{E1} mit der für die eigentliche Messaufgabe geforderten Unsicherheit U_R (Box A).
 - 1) Wenn U_{E1} akzeptabel ist (d. h. $U_{E1} \leq U_R$), dann ist durch die Unsicherheitsbilanz der ersten Iteration bewiesen worden, dass das verwendete Messverfahren für die Messaufgabe adäquat ist (Box 11).
 - 2) Wenn U_{E1} nicht akzeptabel ist (d. h. $U_{E1} > U_R$), oder wenn keine geforderte Unsicherheit angegeben ist, aber ein niedrigerer Wert, der der Aufgabe angemessener ist, verlangt wird, muss der Iterationsvorgang fortgesetzt werden.
- c) Analyse der relativen Größe der Unsicherheitskomponenten vor der neuen Iteration. In vielen Fällen dominieren wenige Unsicherheitskomponenten die kombinierte Standardunsicherheit und die erweiterte Unsicherheit.
- d) Änderung der Annahmen oder Verbessern des Wissens über die Unsicherheitskomponenten, um eine genauere (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13) „Obere-Grenze-Schätzung“ der größten (dominierenden) Unsicherheitskomponenten (Box 12) zu erhalten.

Wechsel zu einem detaillierteren Modell des Vorgangs bei der Schätzung der Unsicherheit oder zu einem höheren Niveau des Messverfahrens (Box 12).

- e) Durchführen einer zweiten Iteration der Unsicherheitsbilanz (Boxen 7 bis 9), die zur zweiten, niedrigeren und genaueren (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13) „Obere-Grenze-Schätzung“ der Messunsicherheit U_{E2} führt (Box 10).
- f) Vergleich der zweiten geschätzten Unsicherheit U_{E2} (Box A) mit der für die eigentliche Messaufgabe geforderten Unsicherheit U_R .
 - 1) Wenn U_{E2} akzeptabel ist (d. h. $U_{E2} \leq U_R$), dann ist durch die Unsicherheitsbilanz der zweiten Iteration bewiesen worden, dass das verwendete Messverfahren für die Messaufgabe adäquat ist (Box 11).
 - 2) Wenn U_{E2} nicht akzeptabel ist (d. h. $U_{E2} > U_R$), oder wenn keine geforderte Unsicherheit vorliegt, aber ein niedrigerer Wert, der der Aufgabe mehr angemessen ist, verlangt wird, dann ist eine dritte (oder eventuell noch weitere) Iteration(en) erforderlich. Wiederholen der Analyse der Unsicherheitskomponenten (weitere Änderung der Annahmen oder Verbessern des Wissens, Änderungen der Modellierung usw. [Box 12]) und Konzentration auf die augenblicklich größten Unsicherheitskomponenten.
- g) Wenn alles versucht wurde, um zu genaueren (niedrigeren) „Obere-Grenze-Schätzungen“ der Unsicherheit zu gelangen, ohne dass eine akzeptierbare Unsicherheit $U_{EN} \leq U_R$ erreicht wurde, ist bewiesen, dass es nicht möglich ist, die gegebene Anforderung U_R zu erfüllen.

6.3 Unsicherheitsmanagement für die Entwicklung eines Messverfahrens/Messprozesses

Das Unsicherheitsmanagement wird in diesem Fall durchgeführt, um ein angemessenes Messverfahren (Messung der geometrischen Merkmale eines Werkstückes oder der metrologischen Merkmale eines Messgerätes [Kalibrierung]) zu entwickeln. Das Unsicherheitsmanagement wird auf der Grundlage einer definierten Messaufgabe (Box 1 in Bild 2) und einer gegebenen Zielunsicherheit U_T (Box 2) durchgeführt. Die Definition der Messaufgabe und der Zielunsicherheit sind unternehmenspolitische Entscheidungen, die auf einer ausreichend hohen Unternehmensebene getroffen werden müssen. Ein angemessenes Messverfahren ist ein Verfahren, dessen Ergebnis eine niedrigere oder gleich hohe Unsicherheit aufweist wie die Zielunsicherheit. Wenn die geschätzte Unsicherheit viel niedriger als die Zielunsicherheit ist, ist es möglich, dass das Messverfahren für die Durchführung der Messaufgabe (wirtschaftlich) nicht optimal ist (d. h., der Messprozess ist zu kostenaufwendig).

Die PUMA-Methode beinhaltet auf der Grundlage einer gegebenen Messaufgabe (Box 1) und einer gegebenen Zielunsicherheit U_T (Box 2) folgendes (siehe Bild 2):

- a) Auswahl des Messprinzips (Box 3) auf der Grundlage der Erfahrung und der im Unternehmen vorhandenen Messgeräte.
- b) Planen und Dokumentieren einer vorläufigen Messmethode (Box 4), von Messverfahren (Box 5) und Messbedingungen (Box 6), auf der Grundlage der Erfahrung und der bekannten Gegebenheiten im Unternehmen.
- c) Durchführen einer ersten Iteration und Einrichten einer Anfangs-Unsicherheitsbilanz vorzugsweise nach dem Black-Box-Modell der Schätzung der Unsicherheit (Boxen 7 bis 9). Dies führt zur ersten groben Schätzung der erweiterten Unsicherheit U_{E1} (Box 10). Einzelheiten über die Schätzung der Unsicherheit siehe Abschnitt 9. Alle Schätzungen der Unsicherheit U_{EN} werden als „Obere-Grenze-Schätzung“ durchgeführt.

- d) Vergleich der ersten geschätzten Unsicherheit U_{E1} mit der gegebenen Zielunsicherheit U_T (Box A).
- 1) Wenn U_{E1} akzeptabel ist (d. h. $U_{E1} \leq U_T$), dann ist durch die Unsicherheitsbilanz der ersten Iteration bewiesen worden, dass das gegebene Messverfahren für die Messaufgabe adäquat ist (Box 11).
 - 2) Wenn $U_{E1} \ll U_T$ ist, dann ist das Messverfahren technisch akzeptabel, jedoch könnte es eventuell sinnvoll sein, die Methode oder das Verfahren (Box 13) oder beides zu ändern, um den Messvorgang kostensparender zu gestalten, indem die Unsicherheit erhöht wird. In dem Fall wird eine weitere Iteration benötigt, um die sich ergebende Unsicherheit U_{E2} (Box 10) schätzen zu können.
 - 3) Wenn U_{E1} nicht akzeptabel ist (d. h. $U_{E1} > U_T$), wird der Iterationsvorgang fortgesetzt, oder mit der Feststellung beendet, dass kein adäquates Messverfahren existiert.
- e) Analyse der relativen Größe der Unsicherheitskomponenten vor der neuen Iteration. In vielen Fällen dominieren wenige Unsicherheitskomponenten die kombinierte Standardunsicherheit und die erweiterte Unsicherheit.
- f) Wenn $U_{E1} > U_T$ ist, Änderung der Annahmen oder Modellierung oder Verbessern des Wissens über die Unsicherheitskomponenten (Box 12), um eine genauere (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13) „Obere-Grenze-Schätzung“ der größten (dominierenden) Unsicherheitskomponenten zu erhalten.
- g) Durchführen einer zweiten Iteration der Unsicherheitsbilanz (Boxen 7 bis 9), die zur zweiten, niedrigeren und genaueren (siehe ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13) „Obere-Grenze-Schätzung“ der Messunsicherheit U_{E2} führt (Box 10).
- h) Vergleich der zweiten geschätzten Unsicherheit U_{E2} mit der gegebenen Zielunsicherheit U_T (Box A).
- 1) Wenn U_{E2} akzeptabel ist (d. h. $U_{E2} \leq U_T$), dann ist durch die Unsicherheitsbilanz der zweiten Iteration bewiesen worden, dass das gegebene Messverfahren für die Messaufgabe adäquat ist (Box 11).
 - 2) Wenn U_{E2} nicht akzeptabel ist (d. h. $U_{E2} > U_T$), dann ist eine dritte (oder sind eventuell noch weitere) Iteration(en) erforderlich. Wiederholen der Analyse der Unsicherheitskomponenten (weitere Änderung der Annahmen oder Verbessern des Wissens, Änderungen der Modellierung usw. [Box 12]) und Konzentration auf die momentan größten Unsicherheitskomponenten.
- i) Wenn alles versucht wurde, um zu genaueren (niedrigeren) „Obere-Grenze-Schätzungen“ der Unsicherheiten zu gelangen, ohne dass eine akzeptable Unsicherheit $U_{EN} \leq U_T$ erreicht wurde, dann ist eine Änderung der Messmethode, des Messverfahrens oder der Messbedingungen (Box 13) erforderlich, um (nach Möglichkeit) die Größe der geschätzten Unsicherheit U_{EN} zu reduzieren. Das Iterationsverfahren beginnt wieder mit der ersten Iteration.
- j) Wenn die Änderungen der Messmethode oder des Messverfahrens oder der Messbedingungen (Box 13) nicht zu einer akzeptablen Unsicherheit führen, ist es möglich, das Messprinzip (Box 14) zu ändern und das oben beschriebene Verfahren erneut zu starten.
- k) Wenn die Änderung des Messprinzips und die in Verbindung damit durchgeführten Iterationen noch nicht zu einer akzeptablen Unsicherheit führen, kann als endgültig letzte Möglichkeit die Messaufgabe oder die Zielunsicherheit (Box 15) oder beides geändert und das oben beschriebene Verfahren erneut gestartet werden.
- l) Wenn eine Änderungen der Messaufgabe oder der Zielunsicherheit nicht möglich sind, ist bewiesen worden, dass kein adäquates Messverfahren existiert (Box 16).

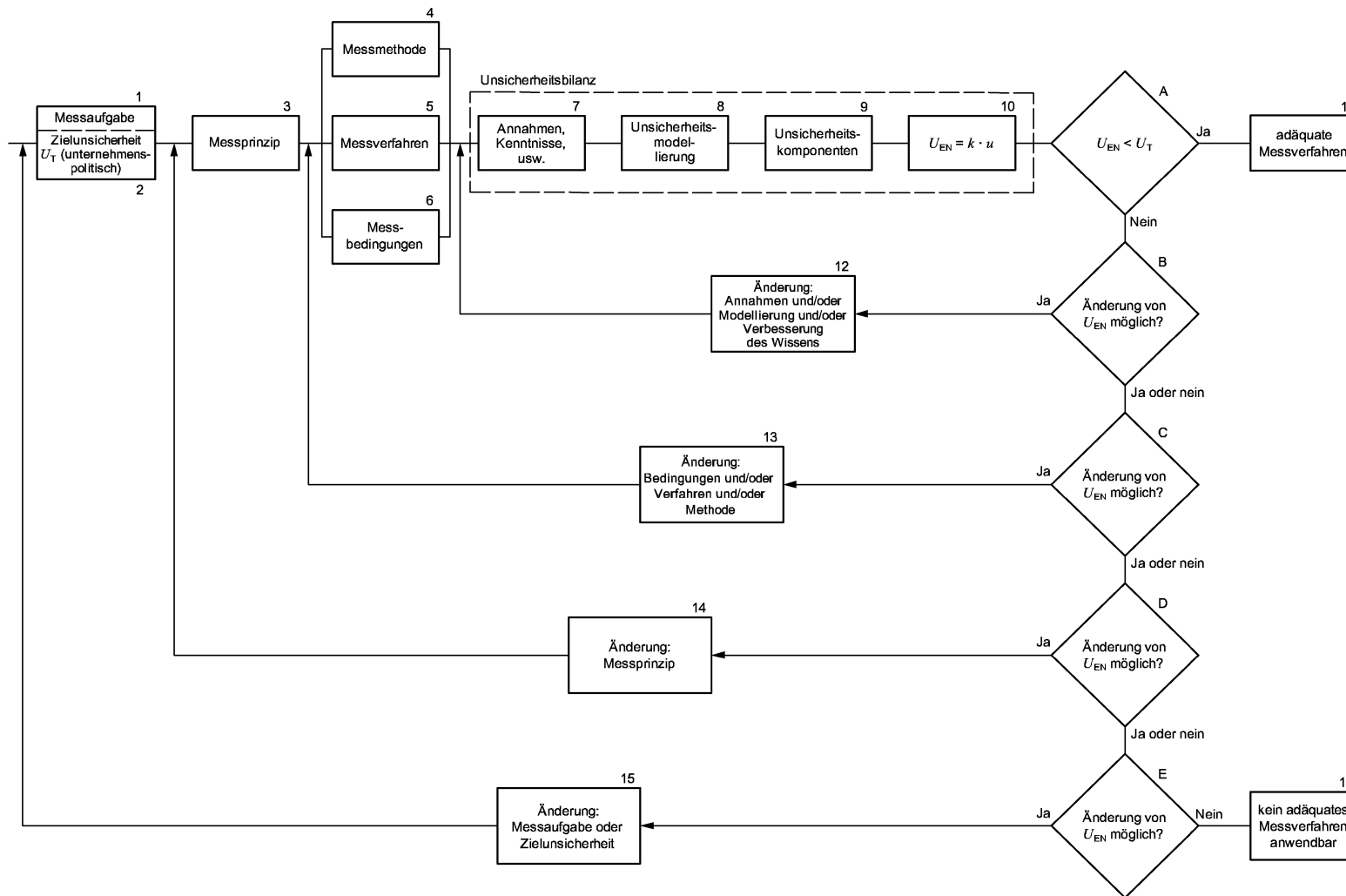


Bild 2 — Prozedur für ein Unsicherheitsmanagement (PUMA) für einen Messprozess oder ein Messverfahren

7 Quellen für Messabweichungen und Unsicherheiten

7.1 Arten von Messabweichungen

Die Messergebnisse weisen regelmäßig verschiedenartige Messabweichungen auf:

- systematische Messabweichung;
- zufällige Messabweichung;
- Messgerätedrift;
- Ausreißer.

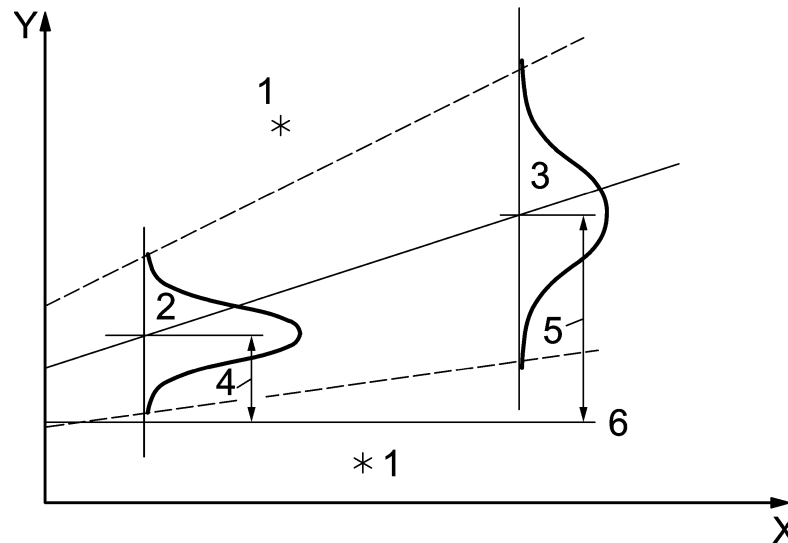
Alle Messabweichungen sind ihrer Natur nach systematisch. Wenn Messabweichungen als nicht systematisch betrachtet werden, dann deshalb, weil der Grund für die Messabweichung nicht gesucht wurde oder die Auflösung nicht ausreichend ist. Systematische Messabweichungen können durch Größe und Vorzeichen (+ oder –) beschrieben werden.

$$ER = MR - TV$$

Dabei ist

- ER die Messabweichung;
- MR das Messergebnis;
- TV der wahre Wert.

Zufällige Messabweichungen sind systematische Messabweichungen, die von nichtbeherrschbaren zufälligen Einflussgrößen verursacht werden. Zufällige Messabweichungen können durch die Standardabweichung und die Art der Verteilung beschrieben werden. Der Mittelwert der zufälligen Messabweichungen wird oft als eine Grundlage für die Ermittlung der systematischen Messabweichung angesehen (siehe Bild 3).



Legende

X	Zeit	3	Verteilung 2
Y	Messwert	4	systematische Messabweichung 1
1	Ausreißer	5	systematische Messabweichung 2
2	Verteilung 1	6	wahrer Wert

Bild 3 — Messabweichungen bei Messergebnissen

Die Messgerätedrift wird durch einen systematischen Einfluss nichtbeherrschbarer Einflussgrößen verursacht. Messgerätedrift ist oft ein Zeit- oder Abnutzungseffekt. Die Messgerätedrift kann beschrieben werden durch die zeit- oder nutzungshäufigkeitsbezogene Änderung.

Ausreißer werden durch nichtwiederholbare Vorfälle bei der Messung verursacht. Sie können durch Störungen — elektrischer oder mechanischer Art — verursacht werden. Ein häufiger Grund für das Auftreten von Ausreißern sind Unzulänglichkeiten, wie das fehlerhafte Ablesen oder Aufzeichnen oder der falsche Umgang mit Messeinrichtungen durch das Personal. Ausreißer können nicht im Voraus beschrieben werden.

Die Messabweichungen oder Unsicherheiten bei einem Messverfahren setzen sich zusammen aus bekannten und unbekannten Messabweichungen einer Anzahl von Quellen oder Verursachern.

Nicht in jedem Fall sind die Quellen oder Verursacher gleich — ebenso wenig ist die Summe der Komponenten jedes Mal gleich.

Dennoch ist es möglich, eine systematische Annäherung durchzuführen. Es gibt immer verschiedene Quellen oder eine Kombination der zehn einzelnen Quellen, die in Bild 4 angegeben sind.

Im Folgenden werden für jeden der zehn Verursacher Beispiele angeführt und weitere Details angegeben.

Problematisch ist oft die Tatsache, dass jeder der Verursacher individuell auf das Messergebnis einwirkt. Doch in vielen Fällen beeinflussen sie auch einander und verursachen zusätzliche Abweichungen und Unsicherheiten.

Bild 4 und die folgenden nicht vollständigen Aufstellungen (siehe 7.2 bis 7.11) geben Anregungen für die systematische Erstellung von Unsicherheitsbilanzen. In jedem Fall setzt die Ermittlung der tatsächlichen Messabweichungs- oder Unsicherheitskomponente physikalische Kenntnisse oder messtechnische Erfahrung oder beides voraus.

In Unsicherheitsbilanzen können die Unsicherheitsverursacher und die Unsicherheitskomponenten zur Vereinfachung in Gruppen gefasst werden.

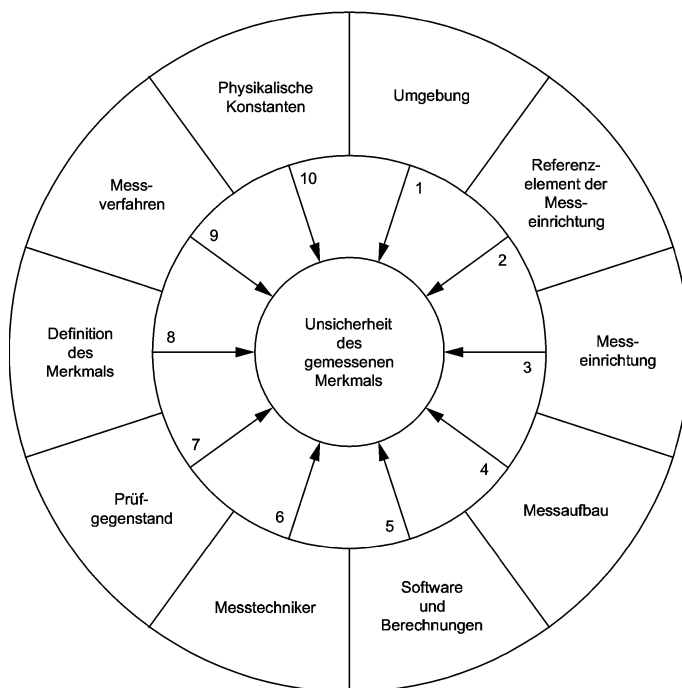


Bild 4 — Unsicherheitsverursacher bei Messungen

7.2 Einwirkungen der Umgebung auf die Messung

In den meisten Fällen — besonders in GPS-Messungen — hat die Umgebungstemperatur den maßgeblichen Anteil an der Unsicherheit. Andere zur Unsicherheit beitragende Quellen können sein:

- Temperatur: absolute Temperatur, zeitlicher und räumlicher Gradient
- Temperaturwert, Zeitvarianz
- Vibration/Rauschen
- Feuchtigkeit
- Verunreinigung
- Beleuchtung
- Umgebungsdruck
- Luftzusammensetzung
- Luftströmung
- Schwerkraft
- elektromagnetische Interferenz
- Einschwingvorgänge der Stromversorgung
- Druckluft (z. B. Luftlager)
- Hitzeeinwirkung;
- Werkstück
- Skale
- thermisches Gleichgewicht des Messinstrumentes

7.3 Referenzelement der Messeinrichtung

Die Messeinrichtung ist in das „Referenzelement“ und die „restliche Messeinrichtung“ aufgeteilt, und es ist häufig sinnvoll, die Messeinrichtung auf diese Art zu betrachten. Das „Referenzelement“ schließt die folgenden Dinge ein:

- Stabilität
- Teilstrichqualität
- Längenausdehnungskoeffizient
- physikalisches Prinzip: Strichmaßstab, optischer, inkrementaler Maßstab, induktiver
- CCD-Technik
- Unsicherheit der Kalibrierung
- Auflösung des Hauptmaßstabs (analog oder digital)

- Maßstab, Gewinde, Zahnstange, Interferometer — Zeitraum seit der letzten Kalibrierung
- Abweichung der Wellenlänge

7.4 Messeinrichtung

Der Rest der Messeinrichtung schließt die folgenden Dinge ein:

- Interpretationssystem
- Vergrößerung, elektrisch oder mechanisch
- Abweichung der Wellenlänge
- Nullpunktstabilität
- Messkraftstabilität/Größe der Messkraft
- Hysterese
- Führungen
- Antastsystem
- geometrische Unvollkommenheit
- Steifigkeit/dynamische Elastizität
- Anzeigeeinrichtung
- linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
- Temperaturempfindlichkeit/-stabilität
- Parallaxe
- Zeitraum seit der letzten Kalibrierung
- Übertragungsverhalten
- Interpolationssystem für Abweichung der Wellenlänge
- Interpolationsauflösung
- Digital-Analog-Wandlung

7.5 Messaufbau (ausgenommen die Anordnung und die Aufspannung des Werkstückes)

In vielen Fällen ist kein Messaufbau erforderlich, da die Messeinrichtung ohne Messaufbau verwendet werden kann.

- Sinus- und Cosinusfehler
- Abbeprinzip
- Temperaturempfindlichkeit
- Steifigkeit/dynamische Elastizität
- Radius des Tastelementes
- Formabweichung des Tastelementes
- Steifigkeit des Aufnehmersystems
- optische Apertur
- Wechselwirkung zwischen Werkstück und Aufbau
- Erwärmung

7.6 Software und Berechnungen

Beachten, dass auch die Anzahl von Digits oder Dezimalstellen einen Einfluss haben.

- Rundung/Quantifizierung
- Algorithmus
- Programmierung des Algorithmus
- Anzahl der signifikanten Stellen in der Berechnung
- Abtastrate
- Filterung
- Korrektur des Algorithmus/Zertifizierung des Algorithmus
- Interpolation/Extrapolation
- Vorgehensweise bei Ausreißern

7.7 Messtechniker

Der Mensch ist kein „stabiler Faktor“ — an verschiedenen Tagen ergeben sich Unterschiede und oft gibt es innerhalb eines Tages ziemlich große Veränderungen.

- Ausbildung
- Kenntnisse (Sorgfalt, Erkennen von Problemen)

- Erfahrung
- Weiterbildung
- physische Einschränkungen/Voraussetzungen
- Integrität
- Einsatzbereitschaft

7.8 Merkmale von Prüfgegenstand, Werkstück oder Messgerät

Die folgenden Dinge können sich auf das Ergebnis auswirken:

- Oberflächenrauheit
- Formabweichung
- Elastizitätsmodul
- Elastizität jenseits des Elastizitätsmoduls
- Längenausdehnungskoeffizient
- spezifische elektrische Leitfähigkeit
- Gewicht
- Maße
- Form
- Magnetismus
- hygroskopische Eigenschaften der Werkstoffe
- Alterung
- Sauberkeit
- Temperatur
- innere Spannungen
- Kriechverhalten
- Einfluss der Aufspannung auf das Werkstück
- Lage

7.9 Definition des GPS-Merkmals, des Merkmals des Werkstückes oder des Messgerätes

Die folgenden Dinge werden in der Definition benutzt:

- Bezug
- Bezugssystem
- Freiheitsgrade
- Toleriertes Element
- ISO 4288
- Abweichungen bei den Kettengliedern 3 und 4 (ISO/TR 14638)
- Abstand
- Winkel

7.10 Messverfahren

Das Verfahren wird durch die folgenden Dinge beeinflusst:

- Vorbereitende Maßnahmen
- Anzahl der Messungen
- Reihenfolge der Messungen
- Dauer der Messungen
- Wahl des Messprinzips
- Ausrichten
- Wahl der Referenz — Referenzstück (Normal) und Referenzwert — relativ zum gemessenen Wert
- Wahl der Messeinrichtung
- Wahl des Messtechniklers
- Anzahl der Bediener
- Messstrategie
- Aufspannung
- Fixierung
- Anzahl der Messpunkte
- Prinzip der Antastung und Antaststrategie
- Ausrichten des Tastsystems
- Prüfung der Messgerätedrift
- Messungen auf Umschlag
- Mehrfachredundanzen, Aufteilen der Abweichungen

7.11 Physikalische Konstanten und Umrechnungsfaktoren

Kenntnis der korrekten physikalischen Werte, z.B. der Materialeigenschaften (Werkstück, Messgerät, umgebende Luft usw.) ist wichtig.

8 Mittel zur Schätzung der Unsicherheitskomponenten, der Standardunsicherheit und der erweiterten Unsicherheit

8.1 Schätzung der Unsicherheitskomponenten

Die Schätzung von Unsicherheitskomponenten kann nach der Ermittlungsmethode A und nach der Ermittlungsmethode B vorgenommen werden.

Die Methode A ist eine Ermittlung von Unsicherheitskomponenten u_{xx} , bei der statistische Mittel angewendet werden. Methode B ist eine Ermittlung von Unsicherheitskomponenten u_{xx} , bei der andere als statistische Mittel angewendet werden.

Die Ermittlungsmethode A wird in den meisten Fällen genauere Schätzungen der Unsicherheitskomponenten ergeben als die Ermittlungsmethode B. In vielen Fällen wird die Ermittlungsmethode B hinreichend genaue Schätzungen der Unsicherheitskomponenten ergeben.

Bei der iterativen Methode wird aus diesem Grund die Ermittlungsmethode B ausgewählt, sofern nicht unbedingt gefordert wird, die Unsicherheit mit der Ermittlungsmethode A zu ermitteln. In vielen Fällen besteht keine andere Möglichkeit als die Ermittlungsmethode A anzuwenden. Siehe hierzu die in 8.4 beschriebenen üblichen Fälle für die Ermittlung von Unsicherheitskomponenten.

ANMERKUNG Die Iterationsmethode benutzt das Formelzeichen u_{xx} für alle Unsicherheitskomponenten.

8.2 Ermittlungsmethode A für Unsicherheitskomponenten

8.2.1 Allgemeines

Bei der Ermittlungsmethode A für die Unsicherheitskomponenten u_{xx} werden Daten von wiederholten Messungen benötigt. Die Standardabweichung der Verteilung oder die Standardabweichung des Mittelwertes kann mit Hilfe der Formeln in 8.2.2 errechnet werden.

8.2.2 Statistische Mittel

Ungeachtet der Art der statistischen Verteilung, werden folgende statistische Parameter durch die Gleichungen definiert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n X_i$$

Der Mittelwert $\bar{x}$ einer Anzahl von n Messergebnissen X_i ist eine Schätzung des wahren Werts μ der Grundgesamtheit.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2}{(n-1)}}$$

Die Standardabweichung der Stichprobe s_x , die auf n Messwerten basiert, ist eine Schätzung der Standardabweichung der Grundgesamtheit σ .

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2}{n \times (n-1)}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Die Standardabweichung des Mittelwerts der Stichprobe $s_{\bar{x}}$ ist gleich der Standardabweichung der Stichprobe geteilt durch die Quadratwurzel der Anzahl der Messungen n .

Wenn der Mittelwert oder die Standardabweichung nur auf sehr wenigen wiederholten Messungen basiert, können die Werte der Standardabweichung falsch und möglicherweise zu niedrig sein. Aus diesem Grund wird ein „Sicherheits“-Faktor t verwendet.

Der Sicherheits-Faktor t wird aus der Student- t -Verteilung berechnet. Die Standardabweichung der Stichprobe s_x (wenn notwendig multipliziert mit dem Sicherheitsfaktor t) wird in der Unsicherheitsbilanz als Wert für u_{xx} verwendet, wenn das Messergebnis durch einzelne Ablesungen der betreffenden Komponente erhalten wurde:

$$u_{xx} = s_{x,n} \times t \quad (4)$$

Die Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ ist der Wert, der für die Standardunsicherheit u_{xx} in der Unsicherheitsbilanz verwendet wird, wenn das Messergebnis dadurch erhalten wurde, dass der Mittelwert verschiedener Ablesungen der betreffenden Komponente benutzt wurde.

$$u_{xx} = s_{\bar{x}} \times t \left(s_{\bar{x},n} = \frac{s_{x,n}}{\sqrt{n}} \right) \quad (4)$$

8.3 Ermittlungsmethode B für Unsicherheitskomponenten

8.3.1 Allgemeines

Die Ermittlung von Standardabweichungen mit anderen als statistischen Mitteln wird sehr häufig durch vorliegende Erfahrungen oder durch schlichtes „Schätzen“, wie hoch die Standardabweichung sein könnte, begrenzt.

Die Erfahrung zeigt, dass Menschen Standardabweichungen nicht „verstehen“ oder nicht direkt abschätzen können.

Weiterhin zeigt die Erfahrung, dass Menschen sich an Grenzwerte für Änderungen erinnern oder fähig sind, sich solche mit logischen Argumenten und physikalischen Gesetzen herzuleiten. In vielen Fällen sind Spezifikationen als Grenzwerte bekannt. Dies kann zu einer systematischen Methode entwickelt werden, mit der Standardabweichungen von Grenzwerten abgeleitet werden können.

8.3.2 Transformationsmethode für Grenzwerte

Gegeben ist ein Grenzwert a . Für alle (begrenzten) Verteilungen besteht ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Standardabweichung (definiert durch dieselbe Gleichung, die für alle Verteilungen gültig ist, siehe 8.2.2) und dem Grenzwert a . Dann, wenn der Grenzwert a und die Art der Verteilung bekannt sind, ist es möglich, die Standardabweichung zu berechnen. Als Grenzwertbezeichnung wurden $-a$ und $+a$ gewählt (nur symmetrische Verteilungen):

$$u_{xx} = a \times b \quad (5)$$

Die Erfahrung zeigt, dass es in den meisten Fällen ausreicht, nur drei Verteilungsarten zur Transformation von Variationsgrenzen in Standardabweichungen zu verwenden.

Im Bild 5 sind diese drei Verteilungsarten mit der Gleichung zur Transformation von Grenzwert in Unsicherheitskomponente u_{xx} (Standardunsicherheit) angegeben. Die Normalverteilung ist nicht begrenzt. Das Doppelte der Standardabweichung ($2s$) wird als Grenzwert für die Normalverteilung verwendet. Die Erfahrung zeigt, dass der Mensch sich den $2s$ -Wert als Grenzwert für normal verteilte Daten merkt. Die b -Werte für die drei Verteilungstypen im Bild 5 lauten:

— Normalverteilung: $b = 0,5$