

DIN ISO 22514-7

ICS 03.120.30

Einsprüche bis 2020-07-22

Entwurf

**Statistische Verfahren im Prozessmanagement –
Fähigkeit und Leistung –
Teil 7: Fähigkeit von Messprozessen (ISO/DIS 22514-7:2020);
Text Deutsch und Englisch**

Statistical methods in process management –
Capability and performance –
Part 7: Capability of measurement processes (ISO/DIS 22514-7:2020);
Text in German and English

Méthodes statistiques dans la gestion de processus –
Aptitude et performance –
Partie 7: Aptitude des processus de mesure (ISO/DIS 22514-7:2020);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-05-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nqsz@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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

Gesamtumfang 113 Seiten

DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	5
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	6
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Formelzeichen und Abkürzungen	14
4.1 Formelzeichen	14
4.2 Abkürzungen	17
5 Grundprinzipien	17
5.1 Allgemeines	17
5.2 Auflösung	20
5.3 MPE bekannt und verwendet	20
5.4 Fähigkeits- und Leistungsgrenzen bei Messsystem und Messprozess	20
6 Durchführung	20
6.1 Allgemeines	20
6.2 Einflussfaktoren auf den Messprozess	20
6.2.1 Allgemeines	20
6.2.2 Zum Messsystem gehörige Unsicherheitsbeiträge	21
6.2.3 Zusätzliche, zum Messprozess gehörige Unsicherheitsbeiträge	24
7 Untersuchungen zur Berechnung der Unsicherheitsbeiträge	27
7.1 Messsystem	27
7.1.1 Allgemeines	27
7.1.2 Wiederholpräzision und Bias der Messung auf Grundlage eines Bezugsnormals	27
7.1.3 Linearitätsanalyse auf Grundlage von wenigstens drei Bezugsnormalen	28
7.1.4 Schätzungen auf Grundlage der Unsicherheitsbeiträge (Tabelle 8)	31
7.2 Unsicherheitsbeiträge des Messprozesses	32
7.2.1 Allgemeines	32
7.2.2 Unsicherheitsbeiträge aus der Varianzanalyse	32
8 Berechnung der kombinierten Unsicherheit	32
8.1 Allgemeines	32
8.2 Berechnung der erweiterten Unsicherheit	34
9 Fähigkeit	34
9.1 Leistungsverhältnisse	34
9.1.1 Allgemeines	34
9.1.2 Fähigkeitsverhältnis des Messsystems	35
9.1.3 Fähigkeitsverhältnis des Messprozesses	35
9.2 Fähigkeitsindizes	35
9.3 Fähigkeit eines Messprozesses mit einseitigen Spezifikationen	35
9.3.1 Spezifikationen mit natürlichen Grenzen	35
9.3.2 Einseitige Spezifikation	36
10 Fähigkeit des Messprozesses im Vergleich zur Fähigkeit des Produktionsprozesses	37
10.1 Zusammenhang zwischen ermittelter Prozessfähigkeit und Messprozessfähigkeitsverhältnis	37
10.2 Zusammenhang zwischen ermittelter Prozessfähigkeit und Messprozessfähigkeit	40
11 Fortgesetzte Überprüfung der Stabilität des Messprozesses	40
11.1 Fortgesetzte Überprüfung der Stabilität	40
11.2 Überwachung der Linearität	41
12 Fähigkeit von attributiven Prüfprozessen	42
12.1 Allgemeines	42

12.2	Fähigkeitsberechnungen ohne Verwendung von Bezugswerten	42
12.3	Fähigkeitsberechnungen unter Verwendung von Bezugswerten	43
12.3.1	Berechnung der Unsicherheitsspanne	43
12.3.2	Symbole	44
12.3.3	Arbeitsschritte zur Ermittlung der Unsicherheitsspanne	45
12.4	Fortlaufende Überwachung	47
Anhang A	(informativ) Beispiele	48
A.1	Beispiel einer Linearitätsuntersuchung mit wenigstens drei Normalen	48
A.1.1	Allgemeines	48
A.1.2	Schätzungen für die Parameter der Regressionsfunktion	49
A.1.3	Schätzung der Unsicherheitsbeiträge	50
A.2	Experimentelle Ermittlung der Unsicherheit des Messprozesses	50
A.3	Ermittlung der experimentell nicht berücksichtigten Unsicherheitsbeiträge	53
A.4	Ermittlung der kombinierten und erweiterten Unsicherheit	53
A.5	Bewertung der Fähigkeit von Messsystem und Messprozess	53
Anhang B	(informativ) Angewandte statistische Verfahren	54
B.1	F-Test	54
B.2	Schätzung der Regressionsfunktion	54
B.3	Zerlegungstabellen der Varianzanalyse (ANOVA-Tabellen)	54
B.4	Zusammenhang zwischen der Fähigkeit des Messprozesses und der Fähigkeit des Produktionsprozesses	57
Literaturhinweise		60

Bilder

Bild 1	— Analyse der Messprozessfähigkeit	19
Bild 2	— Graphische Darstellung der Linearität	30
Bild 3	— Identitätsgerade identisch mit $\bar{y}_i$ minus Regressionsgerade	31
Bild 4	— Konsequenzen der Messunsicherheit bei natürlichen Grenzen	36
Bild 5	— Konsequenzen der Messunsicherheit bei einseitiger Spezifikation	37
Bild 6	— Fähigkeitsindex des Prozesses, ausschließlich als Funktion des ermittelten Fähigkeitsindex für eine Spanne von Fähigkeitsanteilen des Messprozesses	39
Bild 7	— Unsicherheitsbereich (gekennzeichnet mit „II“)	42
Bild 8	— Prüfergebnis eines attributiven Messprozesses	44
Bild 9	— Werteverlauf	46
Bild 10	— Unsicherheitsbereich	47
Bild A.1	— Grafische Darstellung gemessener und richtige Werte	49

Tabellen

Tabelle 1	— Unsicherheit aus dem MPE-Wert	22
Tabelle 2	— Unsicherheit von der Auflösung	22
Tabelle 3	— Kalibrierunsicherheit des Normals	23
Tabelle 4	— Unsicherheit vom Messsystem	23
Tabelle 5	— Unsicherheit aus Wiederholpräzision und erweiterter Vergleichpräzision des Messprozesses	24
Tabelle 6	— Weitere Unsicherheiten beim Messprozess	25
Tabelle 7	— Messdaten	29
Tabelle 8	— Von der Linearität stammende Unsicherheit	31
Tabelle 9	— Unsicherheitsberechnung	33
Tabelle 10	— Ermittelte und wahre Indizes	39
Tabelle 11	— Ermittelte und wahre Indizes	40
Tabelle 12	— Prüfergebnis eines attributiven Messprozesses	43

Tabelle A.1 — Werte der Wiederholungsmessungen an Bezugsmaterialien	48
Tabelle A.2 — Berechnung der Residuen	50
Tabelle A.3 — Berechnung der Varianz	50
Tabelle A.4 — Ergebnisse der Messungen an 10 Teilen durch 3 Prüfer	51
Tabelle A.5 — Tabelle zur Varianzanalyse	52
Tabelle A.6 — Modifizierte Tabelle zur Varianzanalyse	52
Tabelle B.1 — Tabelle zur Varianzanalyse für Tabelle A.3	55
Tabelle B.2 — Datenerfassungssystem	55
Tabelle B.3 — Berechnungsschema für Quadratsumme	55
Tabelle B.4 — ANOVA-Tabelle des vollfaktoriellen Modells von zwei Zufallsfaktoren	56
Tabelle B.5 — Erwartete mittlere quadratische Abweichungen	56
Tabelle B.6 — Standardunsicherheiten	57
Tabelle B.7 — Modifizierte ANOVA-Tabelle, falls die Wechselwirkung nicht signifikant ist	57

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO/DIS 22514 7:2020, die vom Technischen Komitee ISO/TC 69, *Applications of statistical methods*, erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von ANSI (Vereinigte Staaten von Amerika) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 147-00-02 AA „Angewandte Statistik“ im DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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

ISO 1	siehe	DIN EN ISO 1
ISO 3534-1	siehe	DIN ISO 3534-1
ISO 3534-2	siehe	DIN ISO 3534-2
ISO 5725-1	siehe	DIN ISO 5725-1
ISO 5725-2	siehe	DIN ISO 5725-2
ISO 5725-3	siehe	DIN ISO 5725-3
ISO 5725-4	siehe	DIN ISO 5725-4
ISO 5725-5	siehe	DIN ISO 5725-5
ISO 5725-6	siehe	DIN ISO 5725-6
ISO 10012	siehe	DIN EN ISO 10012
ISO 11095	siehe	DIN ISO 11095
ISO 14253-2	siehe	DIN EN ISO 14253-2
ISO 15530-3	siehe	DIN EN ISO 15530-3
ISO 17450-2	siehe	DIN EN ISO 17450-2

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Standardreferenztemperatur für die Geometrische Produktspezifikation und -prüfung*

DIN EN ISO 10012, *Messmanagementsysteme — Anforderungen an Messprozesse und Messmittel*

DIN EN ISO 14253-2, *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*

DIN EN ISO 15530-3, *Geometrische Produktspezifikation und -prüfung (GPS) — Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit von Koordinatenmessgeräten (KMG) — Teil 3: Anwendung von kalibrierten Werkstücken oder Normalen*

DIN EN ISO 17450-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Grundlagen — Teil 2: Grundsätze, Spezifikationen, Operatoren, Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten*

DIN ISO 3534-1, *Statistik — Begriffe und Formelzeichen — Teil 1: Wahrscheinlichkeit und allgemeine statistische Begriffe*

DIN ISO 3534-2, *Statistik — Begriffe und Formelzeichen — Teil 2: Angewandte Statistik*

DIN ISO 5725-1, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe*

DIN ISO 5725-2, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens*

DIN ISO 5725-3, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 3: Präzisionsmaße eines vereinheitlichten Messverfahrens unter Zwischenbedingungen*

DIN ISO 5725-4, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 4: Grundlegende Methoden für die Ermittlung der Richtigkeit eines vereinheitlichten Messverfahrens*

DIN ISO 5725-5, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 5: Alternative Methoden für die Ermittlung der Präzision eines vereinheitlichten Messverfahrens*

DIN ISO 5725-6, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 6: Anwendung von Genauigkeitswerten in der Praxis*

DIN ISO 11095, *Lineare Kalibrierung unter Verwendung von Referenzmaterialien*

Vorwort

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

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

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

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

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 69, *Application of statistical methods*, Unterkomitee SC 4, *Applications of statistical methods and process management* erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 22514 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Der Zweck eines Messprozesses ist es, ein Messergebnis zu erzeugen, welches anhand definierter Merkmale eines Teils oder Prozesses gewonnen wurde. Die Messprozessfähigkeit leitet sich von den statistischen Eigenschaften der Messungen eines Messprozesses ab, der auf vorhersehbare Art und Weise betrieben wird.

Die Berechnungen der Indizes für Fähigkeit und Leistung beruhen auf Messergebnissen. Um die Indizes sinnvoll zu gestalten, muss die Unsicherheit des Messprozesses, der zur Erstellung dieser Indizes verwendet wird, zuvor geschätzt werden. Die tatsächliche Messunsicherheit muss entsprechend klein sein.

Falls mittels eines Messprozesses beurteilt wird, ob ein Produktmerkmal einer Spezifikation entspricht oder nicht, muss die Unsicherheit des Messprozesses mit der Spezifikation verglichen werden. Falls der Messprozess zur Prozesslenkung eines Merkmals genutzt wird, ist die Unsicherheit mit der Prozessstreuung zu vergleichen. Für beide Fälle müssen Annehmbarkeitsgrenzen angegeben werden.

Die Qualität der Messergebnisse wird durch die Unsicherheit des Messprozesses angegeben. Diese wird durch die statistischen Eigenschaften von Mehrfachmessungen oder durch Schätzwerte für Eigenschaften festgelegt, die auf der Kenntnis des Messprozesses beruhen.

Die in diesem Teil von ISO 22514 beschriebenen Verfahren befassen sich nur mit der Implementierungsunsicherheit. (Für weitere Informationen zur Implementierungsunsicherheit siehe ISO 17450-2.) Daher sind sie nur brauchbar, wenn bekannt ist, dass Methodenunsicherheit und Spezifikationsunsicherheit im Vergleich zur Implementierungsunsicherheit klein sind. Dieser Teil von ISO 22514 beschreibt Verfahren zur Festlegung und Berechnung von Fähigkeitsindizes für Messprozesse, die auf Unsicherheitsschätzungen beruhen. Der Ansatz, der im ISO/IEC Guide 98-3, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*, verfolgt wird, stellt die Grundlage für den hier vorliegenden Ansatz dar.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 22514 legt ein Verfahren zur Validierung von Messsystemen und eines Messprozesses fest, um eine Aussage darüber zu treffen, ob ein bestimmter Messprozess den Anforderungen für eine spezifische Messaufgabe innerhalb empfohlener Annahmekriterien genügt. Die Annahmekriterien sind als Fähigkeitsindex (C_{MS}) oder als Fähigkeitsverhältnis (Q_{MS}) festgelegt.

ANMERKUNG 1 Dieser Teil von ISO 22514 folgt dem Ansatz des ISO/IEC Guide 98-3, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)* und erstellt ein grundlegendes, vereinfachtes Verfahren zur Angabe und Kombinierung von Messunsicherheitsbeiträgen, das zur Schätzung des Fähigkeitsindexes eines tatsächlichen Messprozesses genutzt wird.

ANMERKUNG 2 Dieser Teil von ISO 22514 wurde hauptsächlich für einen einfachen eindimensionalen Messprozess entwickelt, von dem bekannt ist, dass Methoden- und Spezifikationsunsicherheit im Vergleich zur Implementierungsunsicherheit gering sind. Er kann zugleich in ähnlichen Fällen angewendet werden, bei denen Messungen zur Schätzung der Prozessfähigkeit oder Prozessleistung verwendet werden. Er ist nicht für zeitgleiche Messungen in verschiedene Richtungen oder für komplexe geometrische Messprozesse (wie z. B. Messungen der Oberflächenbeschaffenheit, der Form, Ausrichtung und Lage) geeignet, die über verschiedene Messpunkte ausgeführt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

ISO 3534-2, *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Applied statistics*

ISO 5725-1, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions*

ISO 5725-2, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

ISO 5725-3, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method*

ISO 5725-4, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 4: Basic methods for the determination of the trueness of a standard measurement method*

ISO 5725-5, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method*

ISO 5725-6, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 6: Use in practice of accuracy values*

ISO 7870-1, *Control charts — Part 1: General guidelines*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 3534-1, ISO 3534-2, ISO 5725 (alle Teile) und die folgenden Begriffe.

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

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

IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Grenzwert der Messabweichung

Fehlergrenze

MPE

Extremwert einer Messabweichung in Bezug auf einen bekannten Bezugswert; durch Spezifikationen oder Vorschriften zugelassen für eine Messung, ein Messgerät oder ein Messsystem

Anmerkung 1 zum Begriff: Gewöhnlich werden die Benennungen „Grenzwerte der Messabweichung“ oder „Fehlergrenzen“ verwendet, wenn es zwei Extremwerte gibt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Benennung „Toleranz“ kann nicht zur Bezeichnung des „Grenzwerts der Messabweichung“ verwendet werden.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 4.26, modifizierte Abkürzung „MPE“ wurde hinzugefügt]

3.2

Messgröße

Größe, die gemessen werden soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spezifikation einer Messgröße erfordert Kenntnis der Größenart, Beschreibung des Zustands des Phänomens, des Körpers oder der Substanz als Träger der Größe einschließlich aller relevanten Komponenten und beteiligten chemischen Betrachtungseinheiten.

Anmerkung 2 zum Begriff: In der 2. Ausgabe des VIM und in IEC 60050-300:2001 ist die Messgröße definiert als die „spezielle Größe, die Gegenstand einer Messung ist“.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Messung einschließlich des Messsystems und die Bedingungen, unter denen die Messung durchgeführt wird, könnten zu einer Änderung des Phänomens, des Körpers oder der Substanz führen, so dass die Größe, die gemessen wird, sich von der definierten Messgröße unterscheiden kann. In diesem Fall ist eine angemessene Korrektur erforderlich.

BEISPIEL 1 Die Spannung zwischen den Polen einer Batterie kann abnehmen, wenn zur Durchführung der Messung ein Spannungsmessgerät mit einem signifikanten Leitwert benutzt wird. Die Leerlaufspannung kann aus den Innenwiderständen der Batterie und des Spannungsmessgeräts errechnet werden.

BEISPIEL 2 Die Länge eines Stahlstabes im Gleichgewicht mit der Celsius-Umgebungstemperatur von 23 °C wird sich von der Länge bei der Bezugstemperatur von 20 °C, die die Messgröße ist, unterscheiden. In diesem Fall ist eine Korrektur erforderlich.

Anmerkung 4 zum Begriff: In der Chemie wird „zu analysierende Substanz“ oder der Name einer Substanz oder einer Verbindung manchmal anstelle von „Messgröße“ verwendet. Dieser Gebrauch ist irreführend, weil diese Benennungen keine Größen bezeichnen.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.3]

3.3

Messunsicherheit

Unsicherheit

nichtnegativer Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße auf der Grundlage der verwendeten Information beigeordnet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messunsicherheit schließt Komponenten ein, die sich aus systematischen Effekten ergeben, wie Komponenten, die mit Korrekturen und den zugewiesenen Größenwerten von Normalen zusammenhängen, sowie die Eigenunsicherheit. Manchmal werden geschätzte systematische Effekte nicht korrigiert, sondern es werden stattdessen beigeordnete Messunsicherheitsbeiträge berücksichtigt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Parameter kann beispielsweise sein: eine Standardabweichung, genannt Standardmessunsicherheit (oder ein vorgegebenes Vielfaches davon), oder die halbe Spannweite eines Intervalls mit einer angegebenen Überdeckungswahrscheinlichkeit.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Messunsicherheit umfasst im Allgemeinen viele Komponenten. Einige davon können mit Hilfe der Ermittlungsmethode A der Messunsicherheit aus der statistischen Verteilung der Größenwerte aus Messreihen ermittelt und durch Standardabweichungen charakterisiert werden. Die anderen Komponenten, die nach der Ermittlungsmethode B der Messunsicherheit ermittelt werden können, können ebenfalls durch Standardabweichungen charakterisiert werden, ermittelt auf der Grundlage von Erfahrungen oder anderer Information.

Anmerkung 4 zum Begriff: Im Allgemeinen wird für eine Menge an Information davon ausgegangen, dass die Messunsicherheit einem angegebenen Größenwert beigeordnet ist, der der Messgröße zugewiesen ist. Eine Änderung dieses Größenwerts führt zu einer Änderung der beigeordneten Unsicherheit.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.26]

3.4

Ermittlungsmethode A der Messunsicherheit

Ermittlungsmethode A

Ermittlung einer Komponente der Messunsicherheit durch die statistische Analyse von Messwerten, die man unter definierten Messbedingungen erhalten hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Für verschiedene Arten von Messbedingungen siehe unter: Wiederholbedingung, Vergleichbedingung und erweiterte Vergleichbedingung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bezüglich Informationen zur statistischen Analyse, siehe z. B. ISO/IEC Guide 98-3.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe auch ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.2, ISO 5725, ISO 13528, ISO/TS 21748, ISO 21749.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.28]

3.5

Ermittlungsmethode B der Messunsicherheit

Ermittlungsmethode B

Ermittlung einer Komponente der Messunsicherheit durch andere Methoden als durch die Ermittlungsmethode A der Messunsicherheit

BEISPIEL Ermittlung auf der Grundlage von Information

- in Zusammenhang mit offiziellen veröffentlichten Größenwerten,
- in Zusammenhang mit dem Größenwert eines zertifizierten Bezugsmaterials,
- erhalten aus einem Kalibrierschein,
- über Drift,
- erhalten aus der Genauigkeitsklasse eines geprüften Messgeräts,

— erhalten aus durch persönliche Erfahrung abgeleiteten Grenzen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.3.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.29]

3.6

Standardmessunsicherheit

Standardunsicherheit

Messunsicherheit, ausgedrückt als eine Standardabweichung

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.30]

3.7

kombinierte Standardmessunsicherheit

kombinierte Standardunsicherheit

Standardmessunsicherheit, die man erhält, indem man die einzelnen Standardmessunsicherheiten verwendet, die den Eingangsgrößen des Modells der Messung beigeordnet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Falle von Korrelationen von Eingangsgrößen des Modells der Messung müssen auch Kovarianzen berücksichtigt werden, wenn die kombinierte Standardmessunsicherheit berechnet wird. Siehe auch ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.4.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.31]

3.8

erweiterte Messunsicherheit

erweiterte Unsicherheit

Produkt aus einer kombinierten Standardmessunsicherheit und einem Faktor, der größer als eins ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Faktor hängt von der Art der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ausgangsgröße des Modells der Messung ab sowie von der gewählten Überdeckungswahrscheinlichkeit.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Benennung „Faktor“ in dieser Definition bezieht sich auf Erweiterungsfaktor.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die erweiterte Messunsicherheit wird in Absatz 5 der Empfehlung INC-1 (1980) (siehe GUM) „Gesamtunsicherheit“ genannt und in den IEC-Dokumenten einfach nur „Unsicherheit“.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.35]

3.9

Bias der Messung

Schätzwert einer systematischen Messabweichung

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.18]

3.10

Messergebnis

Menge von Größenwerten, die einer Messgröße zugewiesen sind, zusammen mit jeglicher verfügbarer, relevanter Information

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Messergebnis enthält im Allgemeinen „relevante Information“ über die Menge der Größenwerte, von denen einige repräsentativer für die Messgröße sein können als andere. Dies kann in Form einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion ausgedrückt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Messergebnis wird im Allgemeinen als ein einziger Messwert und eine Messunsicherheit ausgedrückt. Wird die Messunsicherheit für einige Zwecke als vernachlässigbar angesehen, kann das Messergebnis als ein einziger Messwert ausgedrückt werden. In vielen Bereichen ist dies die übliche Art, ein Messergebnis auszudrücken.

Anmerkung 3 zum Begriff: In der traditionellen Literatur und in der vorhergehenden Ausgabe des VIM war das Messergebnis als ein Wert definiert, der einer Messgröße zugewiesen ist, und so erklärt, dass er eine Anzeige oder ein unkorrigiertes oder ein korrigiertes Ergebnis bedeutet, je nach Kontext.

3.11

Modell der Messung

mathematische Beziehung zwischen allen Größen, von denen bekannt ist, dass sie an einer Messung beteiligt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine allgemeine Form eines Modells der Messung ist die Gleichung $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$, wobei Y die Ausgangsgröße des Modells der Messung, die *Messgröße* (3.2) ist, deren Größenwert von Information über die Eingangsgröße des Modells der Messung $X_1, \dots, X_n$ herzuleiten ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: In komplexeren Fällen, in denen es zwei oder mehr Ausgangsgrößen des Modells der Messung gibt, besteht das Modell der Messung aus mehr als einer Gleichung.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.48]

3.12

Messaufgabe

Quantifizierung einer Messgröße in Übereinstimmung mit ihrer Definition

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messaufgabe ist identisch mit dem Zweck der Anwendung des Messverfahrens.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messaufgabe kann genutzt werden, um z. B.:

- die Messergebnisse mit einem oder zwei Grenzwerten zu vergleichen, um anzugeben, ob der Wert für die Messgröße ein zulässiger Wert ist;
- anzugeben, ob die einen Herstellungsprozess charakterisierende Messgröße sich innerhalb der festgelegten Spezifikationen befindet;
- ein Konfidenzintervall gegebener mittlerer Länge für den Unterschied zwischen zwei Werten für dieselbe Messgröße zu erhalten.

3.13

Messprozess

Satz von Tätigkeiten zur Ermittlung eines Größenwerts

[QUELLE: ISO 9000]

3.14

Auflösung

kleinste Änderung einer Messgröße, die in der entsprechenden, durch Messmittel bereitgestellten Anzeige eine merkliche Änderung verursacht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Auflösung kann z. B. von Rauschen (intern oder extern) oder von Reibung abhängen. Sie kann auch vom Wert einer gemessenen Größe abhängig sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei einem visuell anzeigenden, digitalen Messgerät entspricht die Auflösung der kleinsten unterscheidbaren Differenz der Anzeige

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Auflösung ist nicht notwendigerweise linear.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 4.14, modifiziert: „durch Messmittel bereitgestellten“ in der Definition hinzugefügt, Anmerkung 2 und 3 hinzugefügt.]

3.15

Bezugswert

Größenwert, der als Grundlage für den Vergleich mit Werten von Größen der gleichen Art verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Bezugswert kann ein wahrer Wert einer Messgröße sein, dann ist er unbekannt, oder ein vereinbarter Wert, dann ist er bekannt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Bezugswert mit beigeordneter Messunsicherheit wird üblicherweise angegeben mit Bezug auf:

- a) ein Material, z. B. ein zertifiziertes Bezugsmaterial,
- b) ein Gerät, z. B. einen stabilisierten Laser,
- c) ein Bezugsmessverfahren,
- d) einen Vergleich von Normalen.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 5.18]

3.16

Wiederholpräzision

Messpräzision bei einer Menge von Wiederholbedingungen von Messungen

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.21]

3.17

erweiterte Vergleichpräzision

Messpräzision unter erweiterten Vergleichbedingungen

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 4.14, modifiziert: Anmerkung gestrichen.]

3.18

Stabilität eines Messprozesses

Eigenschaft eines Messprozesses, der zufolge seine Eigenschaften im zeitlichen Verlauf konstant bleiben

3.19

Einheit

Objekt

das, was einzeln beschrieben und betrachtet werden kann

4 Formelzeichen und Abkürzungen

4.1 Formelzeichen

a	halbe Breite der Verteilung möglicher Werte einer Eingangsgröße
a_{OBJ}	maximale Formabweichung
α	Signifikanzniveau
B_i	Bias der Messung
β_0	Abschnitt der Kalibrierfunktion (auf der y-Achse)
$\widehat{\beta}_0$	geschätzter Abschnitt der Kalibrierfunktion auf der y-Achse
β_1	Steigung der Kalibrierfunktion
$\widehat{\beta}_1$	geschätzte Steigung der Kalibrierfunktion

C_{MP}	Messprozessfähigkeitsindex
C_{MS}	Messsystemfähigkeitsindex
C_p	Prozessfähigkeitsindex
C_{pk}	kleinster Prozessfähigkeitsindex
$C_{p,obs}$	ermittelter Prozessfähigkeitsindex
$C_{p,p}$	tatsächlicher Prozessfähigkeitsindex
d_{LR}	Bereich zwischen dem letzten Bezugswert, dessen Ergebnis sämtliche Prüfer als beanstandet bewertet haben, und dem ersten Bezugswert, dessen Ergebnis sämtliche Prüfer als angenommen bewertet haben
d_{UR}	Bereich zwischen dem letzten Bezugswert, dessen Ergebnis sämtliche Prüfer als angenommen bewertet haben, und dem ersten Bezugswert, dessen Ergebnis sämtliche Prüfer als beanstandet bewertet haben
d	mittlerer Bereich
k	Erweiterungsfaktor
K	Gesamtzahl der Wiederholungsmessungen an einem Teil. Das Teil kann ein Bezugsnormale oder ein Werkstück sein.
k_{CAL}	Erweiterungsfaktor des Kalibrierzertifikats
l	gemessene Länge
L	Mindestwert
L_{SL}	Mindestwert
M_{PE}	Grenzwert der Messabweichung (eines Messsystems) (MPE-Wert)
m_{ji}	Häufigkeiten im Bowker-Test
N	Anzahl der Normale
n	Anzahl der Messungen
P	Wahrscheinlichkeit
P_p	Prozessleistungsindex
$P_{p, obs}$	ermittelter Prozessleistungsindex
$P_{p, p}$	tatsächlicher Prozessleistungsindex
Q_{attr}	Fähigkeitsverhältnis eines attributiven Prüfprozesses
Q_{MS}	Messsystemfähigkeitsverhältnis
Q_{MP}	Messprozessfähigkeitsverhältnis
R_E	Auflösung des Messsystems
s	Stichprobenstandardabweichung (für die Wiederholpräzision des Messsystems)
T	Temperatur

$t_{1-(\alpha/2)}$	zweiseitige kritische Werte der Studentschen t -Verteilung
U	Höchstwert
U_{SL}	Höchstwert
u_{α}	Standardunsicherheit des Ausdehnungskoeffizienten
u_{AV}	Standardunsicherheit aus der Wiederholpräzision des Prüfers
u_{BI}	Standardunsicherheit durch den Bias der Messung
u_{CAL}	Kalibrierstandardunsicherheit eines Normals
u_{MP}	kombinierte Standardunsicherheit des Messprozesses
u_{EV}	Standardunsicherheit aus dem Höchstwert der Wiederholpräzision oder Auflösung
u_{EVR}	Standardunsicherheit aus der Wiederholpräzision an Normalen
u_{EVO}	Standardunsicherheit aus der Wiederholpräzision an Prüfobjekten
u_{GV}	Standardunsicherheit aus der erweiterten Vergleichpräzision des Messsystems
u_{IAi}	Standardunsicherheit durch Wechselwirkungen
u_{LIN}	Standardunsicherheit durch die Linearität des Messsystems
u_{MP}	kombinierte Standardunsicherheit des Messprozesses
u_{MPE}	berechnete Standardunsicherheit basierend auf dem Grenzwert der Messabweichung
u_{MS}	kombinierte Standardunsicherheit des Messsystems
$u_{MS-REST}$	Standardunsicherheit durch andere Einflusskomponenten, die nicht Bestandteil der Analyse des Messsystems sind
u_{OBJ}	Standardunsicherheit durch die Inhomogenität der Prüfobjekte
u_{RE}	Standardunsicherheit durch die Auflösung des Messsystems
u_{REST}	Standardunsicherheit durch andere Einflusskomponenten, die nicht Bestandteil der Analyse des Messprozesses sind
u_{STAB}	Standardunsicherheit aus der Stabilität des Messsystems
u_T	Standardunsicherheit durch die Temperatur
u_{TA}	Standardunsicherheit durch die Ausdehnungskoeffizienten
u_{TD}	Standardunsicherheit durch den Temperaturunterschied zwischen Werkstück und Messsystem
U_{attr}	Unsicherheit bei einer attributiven Prüfung
U_{CAL}	Unsicherheit bei der Kalibrierung eines Normals
U_{MS}	Unsicherheit des Messsystems
U_{MP}	Unsicherheit des Messprozesses
y_j	j -ter Messwert
$\bar{y}$	Mittelwert aller Messungen

$\overline{y_g}$	arithmetisches Mittel sämtlicher Stichprobenwerte
x_i	i -te Messung der Eingangsgröße
x_m	Bezugswert

4.2 Abkürzungen

ANOVA	analysis of variance	Varianzanalyse
DOE	design of experiments	(statistische) Versuchsplanung
GPS	geometrical product specifications	geometrische Produktspezifikationen
R&R	repeatability and reproducibility	Wiederholpräzision und erweiterte Vergleichpräzision
GUM	guide to the expression of the uncertainty of measurement	Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (ISO/IEC Guide 98-3)
MPE	maximum permissible error	Grenzwert der Messabweichung
SPC	statistical process control	statistische Prozesslenkung
VIM	international vocabulary of metrology	Internationales Wörterbuch der Metrologie (ISO/IEC Guide 99)

5 Grundprinzipien

5.1 Allgemeines

Das in diesem Teil von ISO 22514 beschriebene Verfahren behandelt einen Großteil der in der Praxis gebräuchlichen Schätzungen der Messunsicherheit. In einigen Fällen, in denen die für dieses Verfahren aufgeführten Vorbedingungen (keine Korrelation zwischen den beeinflussenden Komponenten, kein Empfindlichkeitsfaktor, Vorhandensein eines einfachen, linearen Modells der Messung) nicht erfüllt sind, muss der Anwender das allgemein geltende Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit anwenden, das im ISO/IEC Guide 98-3 beschrieben ist.

Das nachstehende Verfahren befasst sich mit der Implementierungsunsicherheit (siehe auch ISO 17450-2). Daher ist vor Anwendung des Verfahrens festzustellen, ob Methoden- und Spezifikationsunsicherheit im Vergleich zur Implementierungsunsicherheit klein ausfallen. Des Weiteren ist das Verfahren für komplexe geometrische Messprozesse (wie z. B. Messungen der Oberflächenbeschaffenheit, der Form, Ausrichtung und Lage, die über verschiedene Messpunkte erfolgen oder zeitgleiche Messungen in verschiedene Richtungen oder beides) weder geeignet, noch darf es dafür eingesetzt werden.

Der ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) gestattet die Bewertung von Standardunsicherheiten auf jede geeignete Weise. Er unterscheidet zwischen der Bewertung durch eine statistische Aufbereitung von Wiederholungsmessungen (Ermittlungsmethode A der Messunsicherheit) und der Bewertung auf andere Weise (Ermittlungsmethode B der Messunsicherheit). Beide Bewertungsarten werden über die Bewertung der kombinierten Standardunsicherheit durch das Quadrat der Standardunsicherheit beschrieben und auf dieselbe Art und Weise aufbereitet. Die Standardunsicherheiten können zusammengefasst werden, um die (kombinierte) Standardmessunsicherheit zu erhalten. Diese Bewertung der Unsicherheit wird nach ISO/IEC Guide 98-3 unter Verwendung des Unsicherheitsfortpflanzungsgesetzes vorgenommen. Der ISO/IEC Guide 98-3 stellt ausführliche Einzelheiten und zusätzlich die als Grundlagen dienenden Voraussetzungen zu diesem Verfahren dar.

Um ein Messsystem oder einen Messprozess zu bewerten, kann das Fähigkeitsverhältnis Q_{MS} oder Q_{MP} oder der Fähigkeitsindex C_{MP} oder C_{MS} auf Grundlage der kombinierten Standardmessunsicherheit und der Spezifikation berechnet werden.

Die kombinierte erweiterte Unsicherheit sollte wesentlich kleiner als die Spezifikation des gemessenen Merkmals sein.

Falls die mittels eines Versuchs (Ermittlungsmethode A der Messunsicherheit) geschätzten Unsicherheitsbeiträge nicht der erwarteten Streuung dieser Beiträge im tatsächlichen Messprozess entsprechen, können diese Unsicherheitsbeiträge nicht experimentell geschätzt werden. Stattdessen sollten sie durch die Anwendung eines mathematischen Modells abgeleitet werden (Ermittlungsmethode B der Messunsicherheit; z. B. konstante Temperatur im Messlabor beim Durchführen einer Untersuchung und normale Temperaturschwankungen am Ort der zukünftigen Anwendung). Der Fachmann muss das anzuwendende Modell vollumfänglich verstehen.

Bild 1 beschreibt das schrittweise Vorgehen bei diesem Verfahren. Linearität, Wiederholpräzision und Bias der Messung können unter Verwendung eines Bezugsnormals, wie im Ablaufdiagramm gezeigt, erlangt werden. Ersatzweise kann das Bias der Messung auf Grundlage des MPE-Werts (Grenzwert der Messabweichung) erlangt werden.

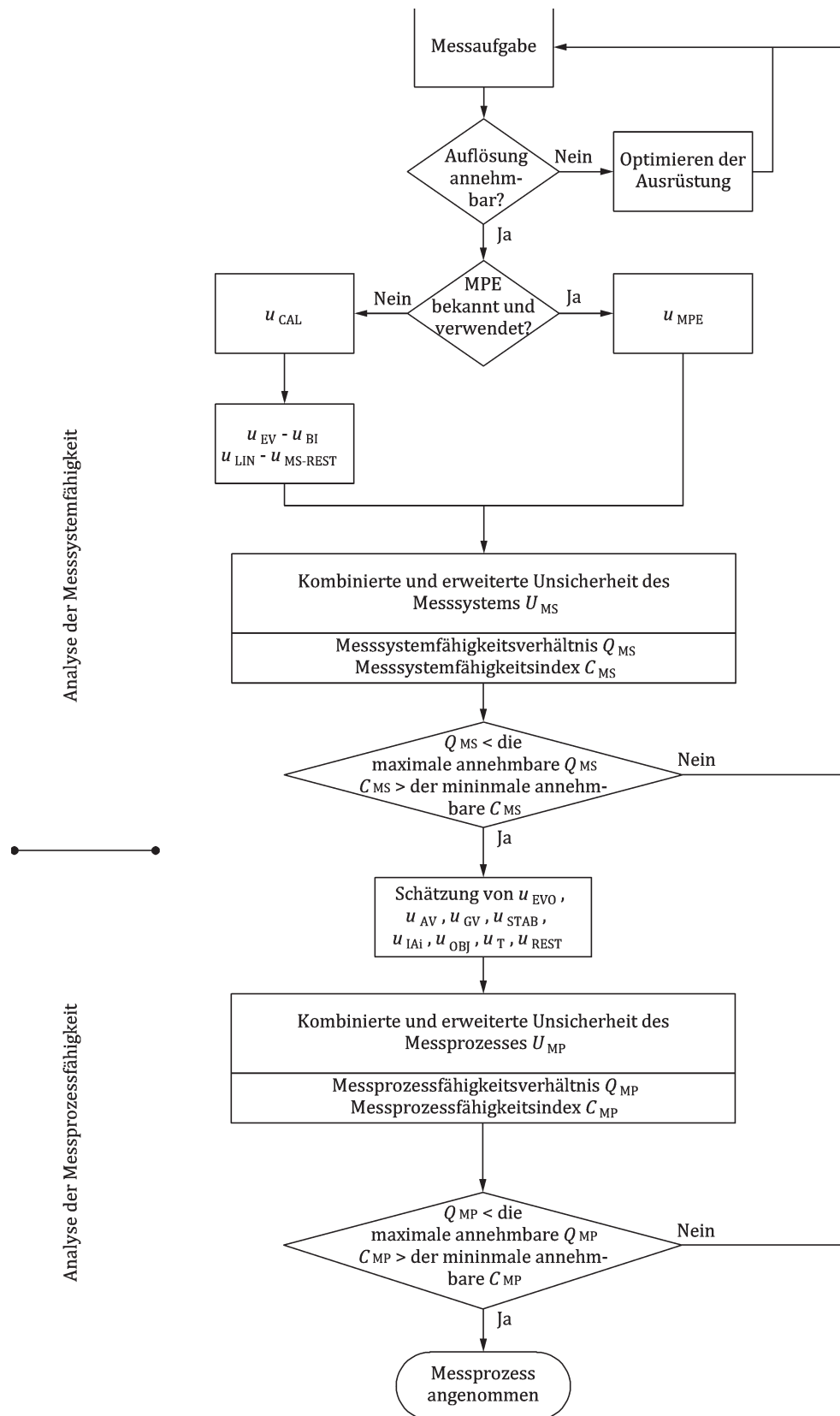


Bild 1 — Analyse der Messprozessfähigkeit

5.2 Auflösung

Die Auflösung ist eine der Komponenten, die einen Beitrag zur Messunsicherheit liefert. Sie darf nie geringer als der Auflösungseffekt sein. Falls die ausschließlich auf Grundlage der tatsächlichen Auflösung berechnete erweiterte Unsicherheit größer als die durch den Messprozess geforderte ist, sollte das Messsystem verbessert werden.

Bei der Anwendung eines Messsystems zur Ermittlung der Konformität mit einer bilateralen Festlegung muss im Normalfall, ohne dass zwischen Lieferant und Käufer eine spezielle Regelung vereinbart wurde, die Auflösung geringer als $1/20$ des Spezifikationsintervalls sein.

Bei der Nutzung eines Messsystems zur Lenkung eines Herstellungsprozesses, bei dem entsprechend einer bilateralen Festlegung SPC-Instrumente verwendet werden, muss im Normalfall, ohne dass zwischen Lieferant und Käufer eine spezielle Regelung vereinbart wurde, die Auflösung kleiner als $1/5$ der Prozessstreuung sein.

5.3 MPE bekannt und verwendet

Falls ein Standardmesssystem verwendet wird, sollten ein Grenzwert der Messabweichung (MPE) oder meistens mehrere für das betrachtete Messsystem festgelegt sein. Die Kalibriereinrichtung wird dazu verwendet, die Konformität mit der Anforderung bezüglich des/der festgelegten metrologischen Merkmals/Merkmale zu dokumentieren, das/die als ein oder mehrere Grenzwert(e) der Messabweichung angegeben ist/sind.

In diesem Fall kann der MPE-Wert oder, falls mehr als ein metrologisches Merkmal die Messaufgabe beeinflusst, das kombinierte Ergebnis der tatsächlichen MPE-Werte anstelle der experimentellen Methode verwendet werden, um die Fähigkeit des Messsystems zu berechnen. Falls eine Anzahl von verschiedenen Geräten als Messsystem verwendet werden sollte, wird das Verfahren unter Verwendung der MPE-Werte empfohlen. Falls im Zusammenhang mit dem Messprozess nur ein festgelegtes Messsystem verwendet werden kann, ist die experimentelle Vorgehensweise zu bevorzugen, da die kombinierte Unsicherheit im Normalfall kleiner ausfällt.

5.4 Fähigkeits- und Leistungsgrenzen bei Messsystem und Messprozess

Falls das Messsystem einem speziellen Messprozess zugeordnet ist, ist das Festlegen einer Grenze für die Messunsicherheit wichtig. Dadurch wird die Wahl des Messsystems bei zukünftigen Messaufgaben vereinfacht.

Falls es keine Anforderung bezüglich einer maximalen Q_{MP} oder eines minimalen C_{MP} gibt, ist fortzufahren und Q_{MS} oder C_{MS} zu berechnen.

Die nachstehende Methode beruht auf der Vorbedingung, dass einige der dem Messprozess beigeordneten Unsicherheitsbeiträge, wie z. B. die Nichthomogenität des Messobjekts, die Auflösung und die Temperatur mathematisch modelliert werden sollten.

6 Durchführung

6.1 Allgemeines

Wie bei anderen Prozessen unterliegt der Messprozess dem Einfluss von sowohl zufälligen als auch systematischen Streuungsursachen. Um die Streuung des Messprozesses zu schätzen und zu lenken, ist es notwendig, sämtliche wichtigen Streuungsursachen zu identifizieren und, falls möglich, zu überwachen. Im Allgemeinen gelten Unsicherheitsbeiträge als vernachlässigbar, die kleiner als 10 % des größten Unsicherheitsbeitrags sind, und müssen daher nicht berücksichtigt werden.

6.2 Einflussfaktoren auf den Messprozess

6.2.1 Allgemeines

In der industriellen Praxis ist die berichtete Unsicherheit des Messprozesses im Allgemeinen auf die Unsicherheit der Wiederholpräzision des Messprozesses an einem Bezugsnorm oder an einem Werkstück beschränkt.

Die aus der linearen Abweichung entstehenden Unsicherheiten werden entweder bewusst auf null gesetzt oder der Spezifikation des Herstellers entnommen, z. B. hinsichtlich der angewandten Fehlergrenze (M_{PE} -Werte).

Die Anwendung des allgemein bekannten Wiederholpräzisionsversuchs an einem Bezugsnormal zur Schätzung der Wiederholpräzision und des Bias der Messung wird empfohlen. Auf Grundlage dieses Versuchs kann dann ein Messfähigkeitsindex geschätzt werden. Dieses Verfahren kann durch die Verwendung von mehr als einem Bezugsnormal nahe oder innerhalb der Grenzwerte erweitert werden. In beiden Fällen kann das Messsystem durch die Anwendung der ermittelten systematischen Messabweichung(en) berichtigt werden.

Falls die Linearität des Messsystems bestimmt werden muss, kann das durch eine Linearitätsuntersuchung der letzten drei Bezugsnormale erfolgen. Das Ergebnis dieser Untersuchung (die Regressionsfunktion) kann dann zur Korrektur des Messergebnisses verwendet werden. Dadurch wird die durch die Linearitätsabweichung verursachte Unsicherheit reduziert.

6.2.2 Zum Messsystem gehörige Unsicherheitsbeiträge

6.2.2.1 Arten

Die mit dem Messsystem verbundenen Unsicherheitsbeiträge (Tabelle 4) sind entweder:

— der Grenzwert der Messabweichung;

oder

— eine Kombination aus:

- Kalibrierunsicherheit;
- Wiederholpräzision oder Auflösung;
- Bias der Messung;
- Linearität; und
- anderen Unsicherheitsbeiträgen.

6.2.2.2 Schätzung der Unsicherheit unter Verwendung des MPE-Werts

Wenn bekannt ist, dass ein Messgerät oder ein Messnormal bezüglich jedes metrologischen Merkmals den angegebenen MPE-Werten entspricht, sollten diese MPE-Werte zur Schätzung des Unsicherheitsbeitrags, wie in Tabelle 1 aufgeführt, verwendet werden.

Tabelle 1 — Unsicherheit aus dem MPE-Wert

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
MPE-Wert	u_{MPE}	Standardunsicherheit aufgrund des Grenzwerts der Messabweichung $u_{\text{MPE}} = \frac{M_{\text{PE}}}{\sqrt{3}}$
		wobei eine Rechteckverteilung angenommen wird. Wenn mehr als ein MPE-Wert den Messprozess beeinflusst, kann die kombinierte Standardunsicherheit wie folgt berechnet werden:
		$u_{\text{MPE}} = \sqrt{\frac{M_{\text{PE1}}^2}{3} + \frac{M_{\text{PE2}}^2}{3} \dots}$

6.2.2.3 Auflösung des Messsystems

Das tatsächlich vorgesehene Messsystem sollte über eine Auflösung verfügen, die so hoch ist, dass die aus der Standardunsicherheit der Auflösung berechnete erweiterte Unsicherheit sehr viel geringer ist (übliche Praxis sind 5 %) als die Toleranz des zu messenden Merkmals (Messgröße).

Die Auflösung des Messsystems, der Schritt in der letzten Ziffer einer digitalen Anzeige oder der gerundete Messwert werden immer einen Unsicherheitsbeitrag verursachen. Wenn der Unsicherheitsbeitrag der Wiederholpräzision aus experimentellen Daten abgeleitet wird, ist der Einfluss der Auflösung usw. darin bereits enthalten, falls der Unsicherheitsbeitrag der Wiederholpräzision (u_{EVR}) größer als der Unsicherheitsbeitrag ist, der auf die Auflösung zurückzuführen ist.

Falls die Unsicherheit der Wiederholpräzisionskomponente größer als die der Auflösungskomponente ist, wird die Auflösungskomponente in die Wiederholpräzisionskomponente aufgenommen. Falls nicht, sollte die Komponente u_{RE} , wie in Tabelle 2 gezeigt, dem Modell der Messung hinzugefügt werden.

Tabelle 2 — Unsicherheit von der Auflösung

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Auflösung des Messsystems	u_{RE}	$u_{\text{RE}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_{\text{E}}}{2} = \frac{R_{\text{E}}}{\sqrt{12}}$ Dabei ist R_{E} die Auflösung, von der angenommen wird, dass sie einer Rechteckverteilung folgt. Falls Analogskalen verwendet werden, kann die tatsächliche Verteilung eine andere z. B. eine Normalverteilung sein.

6.2.2.4 Berechnung von Wiederholpräzision, Bias der Messung und Linearität unter Verwendung von Bezugsnormen oder kalibrierten Werkstücken

Die verwendeten Bezugsnormen oder Werkstücke sollten auf angegebene Verweise, normalerweise nationale oder internationale Normen oder sogenannte Konsensnormen (zwischen Kunde und Lieferant abgestimmte Normen) rückführbar sein. Die vorhandene Unsicherheit während dieser Kalibrierung sollte bestimmt werden (Tabelle 3).

Tabelle 3 — Kalibrierunsicherheit des Normals

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Kalibrierung	u_{CAL}	Standardabweichung der Unsicherheit aufgrund der Kalibrierung (entsprechend dem Zertifikat). In Fällen, in denen die Unsicherheit im Dokument als erweiterte Unsicherheit angegeben wird, sollte sie durch den entsprechenden Erweiterungsfaktor geteilt werden: $u_{\text{CAL}} = U_{\text{CAL}} / k_{\text{CAL}}$

Linearitätsanalysen sollten ausreichend häufig durchgeführt werden, so dass der für M_{PE} geschätzte Wert zwischen zwei Linearitätsanalysen nicht überschritten wird.

6.2.2.5 Experimentelle Methode (unter Verwendung der Regressionsanalyse)

Die experimentelle Methode betrachtet, wie eine Beziehung $Y = A + BX$ (die beschreibt, wie sich die abhängige Variable Y als Funktion der unabhängigen Variable X verändert) aus Messdaten bestimmt werden kann. Die Messdaten entstehen, wenn ein Messsystem, dessen Parameter der Kalibrierfunktion durch die (unbekannten) Werte A und B spezifiziert sind, durch Normale mit kalibrierten Werten für X_i in Maßeinheiten „angeregt“ wird und entsprechende „Reaktionen“ oder Ausgaben Y_i des Messinstruments aufgezeichnet werden.

Tabelle 4 — Unsicherheit vom Messsystem

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Unsicherheit, die aus der Linearität entsteht	u_{LIN}	Fall 1: $u_{\text{LIN}} = 0$ Fall 2: $u_{\text{LIN}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$
		Dabei ist a die halbe Breite des Bereichs einer gleichförmigen Verteilung oder der bekannte MPE-Wert. Fall 3: u_{LIN} wird experimentell zusammen mit u_{EVR} bestimmt (siehe Fall 2 nachstehend). Fall 4: u_{LIN} wird auf Grundlage der Ergebnisse des Kalibrierzertifikats bestimmt.
Unsicherheit, die durch das Bias der Messung entsteht	u_{BI}	Durch die Messungen zu einem Bezugsnormal kann u_{BI} auf Grundlage der Abweichung zwischen dem Normal und dem Mittelwert der Messwerte berechnet werden. $u_{\text{BI}} = \frac{ \bar{x}_g - x_m }{\sqrt{3}}$

Tabelle 4 (fortgesetzt)

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Wiederholpräzision unter Verwendung von Bezugsnormalen	u_{EVR}	Fall 1: Wenigstens 30 Wiederholungsmessungen an einem Bezugsnormal, wodurch u_{EVR} geschätzt werden kann. Fall 2: K-mal wiederholte Messungen an jedem der N (≥ 2) unterschiedlichen Bezugsnormale mit $N \times K \geq 30$. Schätzung über die lineare Regressionsfunktion. Schätzung von u_{EVR} und u_{LIN} durch das ANOVA-Verfahren.
Andere Unsicherheitsbeiträge, die vorstehend nicht enthalten sind	$u_{MS-REST}$	Z. B. Skalenverschiebung (Verwendung verschiedener Messflächen in einer Dicke).

6.2.3 Zusätzliche, zum Messprozess gehörige Unsicherheitsbeiträge

6.2.3.1 Allgemeines

Im Rahmen der Analyse eines festgelegten Messprozesses unter realen Bedingungen sollten zusätzliche Unsicherheitsbeiträge durch den Messprozess (Tabelle 5) gemeinsam mit den vorstehend beschriebenen, vom Messsystem stammenden Unsicherheitsbeiträgen identifiziert und ermittelt werden.

6.2.3.2 Experimentelle Ermittlung von Unsicherheitsbeiträgen (Typ A)

Tabelle 5 — Unsicherheit aus Wiederholpräzision und erweiterter Vergleichpräzision des Messprozesses

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Wiederholpräzision unter Verwendung von Werkstücken	u_{EVO}	Es sind immer wenigstens 5 Werkstücke bei der Analyse zu verwenden, die: — durch wenigstens 2 Prüfer gemessen werden, oder — mittels wenigstens 2 verschiedener Messsysteme gemessen werden (falls relevant). Mindeststichprobenumfang: 30. Schätzung der Unsicherheitsbeiträge durch das ANOVA-Verfahren. [VIM, GUM, ISO 5725, ISO 13528, ISO/TS 21748, ISO 21749]. Falls es keine Beeinflussung durch einen Prüfer gibt, sollte die Zahl der Werkstücke erhöht werden.
Auswirkungen von Änderungen durch den Bearbeiter auf die erweiterten Vergleichbedingungen	u_{AV}	
Erweiterte Vergleichpräzision des Messsystems (Messstandort)	u_{GV}	
Auswirkung von Änderungen im zeitlichen Verlauf auf die erweiterten Vergleichbedingungen	u_{STAB}	
Wechselwirkungen	u_{IAi}	

ANMERKUNG 1 Unter speziellen Bedingungen (z. B. hohe Versuchskosten) können zwei Wiederholungen zulässig sein.

ANMERKUNG 2 Falls der Stichprobenumfang kleiner als 30 ist, kann die Studentsche *t*-Verteilung dazu genutzt werden, die erweiterte Unsicherheit zu berechnen. Siehe Abschnitt 8.

6.2.3.3 Ermittlung nicht experimentell erfasster Unsicherheitsbeiträge (Typ B)

In Ergänzung zu den geschätzten Unsicherheitsbeiträgen des Messsystems (6.2.2) und den geschätzten Unsicherheitsbeiträgen des Messprozesses (6.2.3.2) sollten die nachstehenden zusätzlichen Unsicherheitsbeiträge unter Verwendung eines mathematischen Modells (Tabelle 6) ermittelt werden.

Tabelle 6 — Weitere Unsicherheiten beim Messprozess

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Nichthomogenität des Teils	u_{OBJ}	$u_{OBJ} = \frac{a_{OBJ}}{\sqrt{3}}$ Dabei ist a_{OBJ} die durch das Messobjekt verursachte, maximal zulässige oder erwartete Abweichung (z. B. Formabweichung).
Temperatur	u_T	Der Beeinflussung durch die Temperatur kann unter Verwendung folgender Gleichung berechnet werden: $u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2}$
		Die Unsicherheit aus den Temperaturunterschieden u_{TD} könnte z. B. nach ISO 14253-2 geschätzt werden.
		$u_{TD} = \frac{\Delta T \cdot \alpha \cdot l}{\sqrt{3}}$ Dabei ist α der Ausdehnungskoeffizient; ΔT ist der Temperaturunterschied und es wird eine Rechteckverteilung angenommen. Die Unsicherheit für Ausdehnungskoeffizienten könnte nach ISO 15530-3 geschätzt werden.
		$u_{TA} = \frac{ T - 20^\circ C \cdot u_\alpha \cdot l}{\sqrt{3}}$ Dabei ist T die mittlere Temperatur während der Messung, u_α ist die Unsicherheit des Ausdehnungskoeffizienten, l ist der ermittelte Wert der Längenmessung.

In der vorstehenden Formel steht T für die „Temperatur“. Es kann nicht mit dem „Spezifikationsintervall“ oder dem „Sollwert“ an anderen Stellen in diesem Teil von ISO 22514 verwechselt werden.

Für den Fall, dass für einen Temperaturunterschied keine Kompensation erfolgt, sollte für diesen Unterschied ein Betrag in die Schätzung der vorstehenden Gleichung aufgenommen werden.

Das Teil ist das Messobjekt, auch in dem Fall, wenn es inline (d. h. im Fertigungsprozess integriert) gemessen wird

6.2.3.4 Einfluss einer Abweichung beim Werkstück auf das Messergebnis

Bei vielen Messprozessen berührt die Oberfläche des Werkstücks während der Messung das Messsystem. Abhängig von der Oberflächenstruktur, der Formabweichung und der geometrischen Abweichungen von der nominellen Geometrie, ergibt sich aus der Berührung zwischen Messsystem und Werkstück ein Unsicherheitsbeitrag. In Abhängigkeit von der Messgröße und der Verteilung der Messstellen auf dem Werkstück hat der Einfluss der Formabweichung nicht denselben Umfang (falls die Messgröße dem Höchstwert entspricht und

nur eine Messung durchgeführt wird, wirkt sich die Formabweichung direkt aus, wenn jedoch das Werkstück gedreht wird und der maximal gemessene Wert verwendet wird, ist die Formabweichung Bestandteil der Bewertung und hat keinen Einfluss auf die Messunsicherheit).

Die Komponente a_{0Bj} kann den Anforderungen in den Konstruktionszeichnungen entnommen oder durch Versuche ermittelt werden, die geeignet sind, die größtmögliche Formabweichung oder ähnliche Nichthomogenitäten festzustellen.

Wie in Tabelle 10 dargestellt, wird die Komponente u_{0Bj} dem Modell der Messung hinzugefügt.

6.2.3.5 Auflösung

Falls die Wiederholpräzisionskomponente bei der Verwendung von Werkstücken (u_{EV0}) größer ist als die Auflösungskomponente, wird die Auflösungskomponente in die Wiederholpräzisionskomponente integriert. Falls nicht, sollte die Komponente u_{RE} dem Modell der Messung hinzugefügt werden, wie in Tabelle 1 gezeigt.

6.2.3.6 Einfluss der Temperatur

6.2.3.6.1 Berechnung der Unsicherheit

Die Unsicherheit durch den Einfluss der Temperatur u_T sollte auf Grundlage des durch den Temperaturunterschied entstehenden Unsicherheitsbeitrags und der Unsicherheit durch unbekannte Ausdehnungskoeffizienten berechnet werden.

$$u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2}$$

6.2.3.6.2 Unsicherheitsbeitrag durch Temperaturunterschiede und Ausdehnung

Die Bezugstemperatur für die geometrische Produktspezifikation (GPS) und für die GPS-Messungen beträgt 20 °C (siehe ISO 1). Es kann Bezugstemperaturen für andere Einsatzmöglichkeiten als geometrische geben (z. B. elektrische Temperatureinflüsse), die auf der absoluten Temperatur beruhen, so wie auch zeitliche und räumliche Temperaturgradienten eine lineare Ausdehnung, Biegung usw. des Messsystems zur Folge haben. Messaufbau und Messobjekt erzeugen einen Unsicherheitsbeitrag u_{TD} .

Die Überführung der Temperatur in eine Längenangabe wird durch die Gleichung für die lineare Ausdehnung bereitgestellt:

$$\Delta L = \Delta T \cdot \alpha \cdot l$$

Dabei ist

ΔT der relative Temperaturunterschied;

α der temperaturbezogene Ausdehnungskoeffizient des Materials;

l die betrachtete Nutzlänge.

Eine bekannte Abweichung der Temperatur von der Bezugstemperatur kann gegebenenfalls als systematische Abweichungskomponente korrigiert werden.

Die Unsicherheit u_{TD} kann z. B. nach ISO 14253-2 geschätzt werden.

6.2.3.6.3 Unsicherheit des Ausdehnungskoeffizienten

Häufig wird es durch Schwankungen des Ausdehnungskoeffizienten für das gemessene Werkstück einen Unsicherheitsbeitrag geben. Für diesen Fall wird die Unsicherheit u_{TA} wie folgt berechnet:

$$u_{TA} = \frac{|T - 20\text{ °C}| \cdot u_{\alpha} \cdot l}{\sqrt{3}}$$

Dabei ist u_{α} die Standardunsicherheit des Ausdehnungskoeffizienten der Werkstücke.

Ersatzweise kann die Unsicherheit u_{TA} nach ISO 15530-3 geschätzt werden.

7 Untersuchungen zur Berechnung der Unsicherheitsbeiträge

7.1 Messsystem

7.1.1 Allgemeines

Zur Bereitstellung nützlicher Informationen durch die Untersuchung ist es eine Grundvoraussetzung, dass die Auflösung des Messsystems ermittelt wird und dem tatsächlichen Messprozess angemessen ist.

Es sollte bestätigt werden, dass die Standardunsicherheit der Wiederholpräzision nicht kleiner als die Standardunsicherheit der Auflösung ist. Anderenfalls sollte statt der Unsicherheit der Wiederholpräzision ($\max\{u_{EVR}, u_{EVO}, u_{RE}\}$) die Unsicherheit der Auflösung verwendet werden.

Die angewandte Methode beruht auf Kenntnissen zur Linearität des tatsächlichen Messsystems. Falls die Linearität als bekannt vorausgesetzt wird, können Wiederholpräzision und Bias der Messung durch die Verwendung eines Normals/mehrerer Normale erlangt werden.

7.1.2 Wiederholpräzision und Bias der Messung auf Grundlage eines Bezugsnormals

7.1.2.1 Allgemeines

Falls der Unsicherheitsbeitrag u_{LIN} gleich null ist oder über den Grenzwert der Messabweichung (M_{PE}) geschätzt wird, sollte die Komponente u_{EVR} experimentell ermittelt werden. Die Unsicherheit u_{EVR} wird über die Wiederholpräzision ermittelt, die aus den Messungen an einem Bezugsnormal oder Werkstück geschätzt wird. Sie sollte auf einem Messumfang von wenigstens 30 Wiederholungsmessungen beruhen, um die gemeinsame Auswirkung von Bias der Messung und Wiederholpräzision zu schätzen. In diesem Fall werden Bias und Streuung gemeinsam als zwei verschiedene Unsicherheitsbeiträge u_{BI} und u_{EVR} verwendet.

7.1.2.2 Vorbedingungen

Der Bezugswert für Bezugsnormal oder Werkstück sollte einen Größenwert in der Nähe des Sollwerts haben. Die maximale Abweichung des Bezugsnormals vom Sollwert ist von den Merkmalen des Messsystems abhängig.

Der Bezugswert x_m des Bezugsnormals oder Werkstücks sollte ermittelt werden (im Normalfall durch Kalibrierung).

Das Bezugsnormal oder Werkstück muss zwischen den Messungen entfernt und neu eingesetzt werden.

Im Falle einer physikalisch einseitigen Toleranz („natürliche Grenze“) sollte der Bezugswert des Bezugsnormals oder Werkstücks einen Größenwert in der Nähe des Spezifikationswerts haben.

7.1.2.3 Verfahrensweise

Es werden wenigstens 30 Messungen am Bezugsnormal oder am kalibrierten Werkstück vorgenommen.

Auf Grundlage der tatsächlichen Werte werden das Bias der Messung (B_i), die Standardunsicherheit der Wiederholpräzision vom Bezugsnormal und die Standardunsicherheit des Bias durch folgende Gleichung geschätzt:

$$u_{\text{EVR}} = s = \sqrt{\frac{1}{K-1} \cdot \sum_{i=1}^K (x_i - \bar{x}_g)^2} \text{ und } B_i = |\bar{x}_g - x_m|$$

Dabei ist

K die Zahl der Wiederholungsmessungen;

x_i der Einzelwert der i -ten Messung;

$\bar{x}_g$ der arithmetische Mittelwert sämtlicher Stichprobenwerte.

$$u_{\text{BI}} = \frac{B_i}{\sqrt{3}} = \frac{|\bar{x}_g - x_m|}{\sqrt{3}}$$

Diese Gleichung kann nur in Fällen angewandt werden, in denen nicht zwischen systematischer und zufälliger Abweichung unterschieden werden kann.

Solange die Nullstellung der Messgeräte eine zusätzliche Streuung verursacht, ist es wichtig, das Messsystem unter Verwendung des festgelegten Normals oder Werkstücks zwischen den Versuchen auf null zurückzusetzen.

Falls zur Ermittlung der Wiederholpräzision im Versuch mehr als ein Normal verwendet wird, sollte die größte mittlere Abweichung vom entsprechenden Normal als Wert für das Bias der Messung verwendet werden. Falls die Varianz für konstant gehalten wird, sollte deren Mittelwert verwendet werden.

7.1.3 Linearitätsanalyse auf Grundlage von wenigstens drei Bezugsnormalen

7.1.3.1 Berechnungen bei vorhandenen Linearitätsabweichungen

Unter 6.2.2.3 wird der folgende Versuch verwendet (siehe ISO 11095), um die Unsicherheit durch Abweichungen von der Linearität des Messsystems festzustellen. Falls Linearitätsabweichungen vorhanden sind, sollten Schätzwerte für die Unsicherheitsbeiträge u_{LIN} (Linearitätsunsicherheit) und u_{EVR} (Wiederholpräzision bei einem Normal) aufgrund der nachstehenden Methode berechnet werden.

- 1) An mindestens drei Bezugsnormalen werden je wenigstens drei Wiederholungsmessungen durchgeführt. Der Mindeststichprobenumfang beträgt 30.
- 2) Es wird eine Regressionsanalyse durchgeführt. Es wird festgestellt, ob die Reststandardabweichung über den Messbereich konstant ist. Die Reststandardabweichung wird später bei der Schätzung der Unsicherheit verwendet.
- 3) Es wird eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.
- 4) Aufgrund der Ergebnisse der unter 3) durchgeführten Varianzanalyse werden die Unsicherheitsbeiträge u_{EVR} und u_{LIN} geschätzt.

- 5) Gegebenenfalls werden entsprechend der berechneten Linearität die Messergebnisse zukünftiger Messungen korrigiert.

7.1.3.2 Vorbedingungen

Im Allgemeinen gelten folgende Vorbedingungen:

- Die Reststandardabweichung (Standardabweichung aus Wiederholungsmessungen an den Normalen) ist stets konstant (siehe Tabelle 9).
- Die Regressionsfunktion ist linear (Regressionsgerade).
- Die Unsicherheiten bezüglich der „wahren“ Werte der Bezugsnormale sind im Vergleich zur Größe der Messabweichungen des Normals gering.
- Die Messungen sind bezüglich der zukünftigen Nutzung des Messsystems in Bezug auf die Umgebung und andere Bedingungen repräsentativ.
- Die Wiederholungsmessungen der Bezugsnormale sind unabhängig voneinander und normalverteilt.
- Die Werte für die Bezugsnormale sind innerhalb des relevanten Messbereichs ungefähr gleichweit voneinander angeordnet.

7.1.3.3 Bedingungen

Die Bedingungen der Methode sind nachstehend ausführlich beschrieben.

Eine Regressionsgerade wird auf Grundlage der Messwerte unter Verwendung der graphischen Darstellung, wie in Bild 2 gezeigt, dargestellt. Dadurch kann ein erster Eindruck erlangt werden:

- 1) ob der Messprozess während des Versuchs gelenkt abläuft,
- 2) zur Eignung der Vorbedingungen (z. B. Linearität, Reststandardabweichung konstant),
- 3) von den Messwerten im Vergleich zum richtigen Wert, und
- 4) zum Vorhandensein von Ausreißern und zeitlichen Trends, die eine weitere Untersuchung benötigen.

7.1.3.4 Beispiel einer Linearitätsanalyse (Tabelle 7)

Die Gleichung für die Regressionsgerade lautet:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_{ij}$$

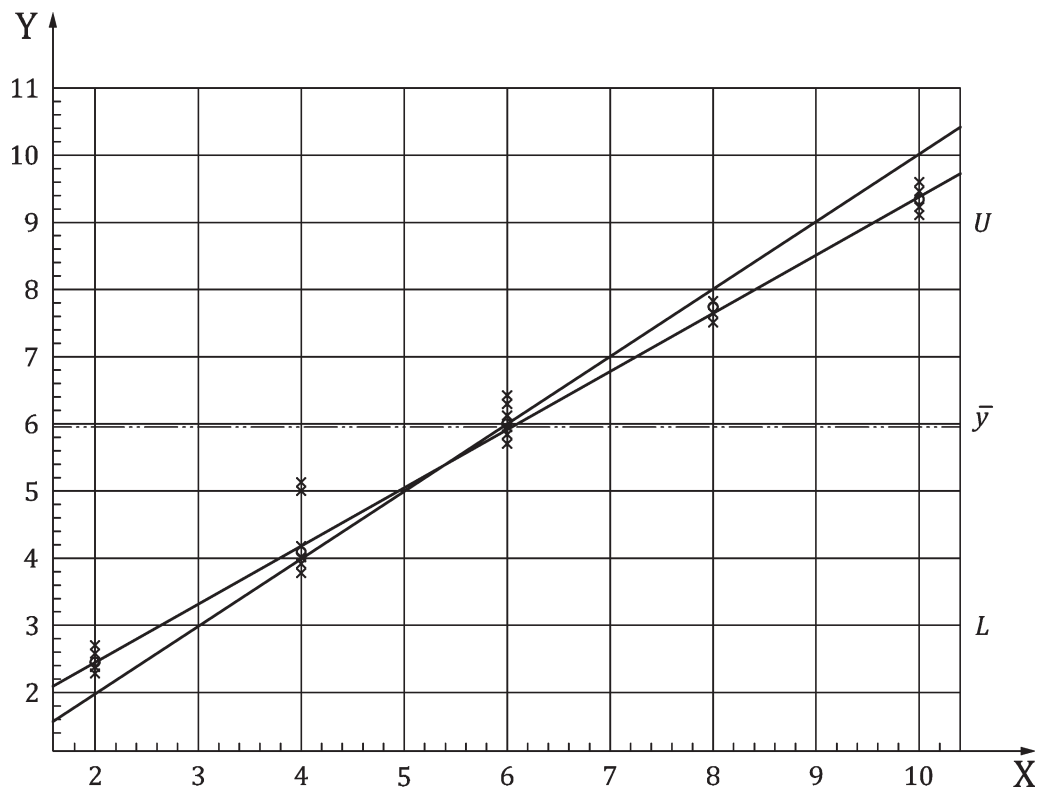
Die graphische Darstellung ist in Bild 2 und Bild 3 wiedergegeben.

Tabelle 7 — Messdaten

<i>i</i>	<i>x_m</i>	Messergebnisse an Normalen												$\bar{y}_i$ <i>s</i>	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	2,0	2,7	2,5	2,4	2,5	2,7	2,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,6	2,4	2,49	0,12
2	4,0	5,1	3,9	4,2	5,0	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,1	3,8	4,13	0,45
3	6,0	5,8	5,7	5,9	5,9	6,0	6,1	6,0	6,1	6,4	6,3	6,0	6,1	6,03	0,20

Tabelle 7 (fortgesetzt)

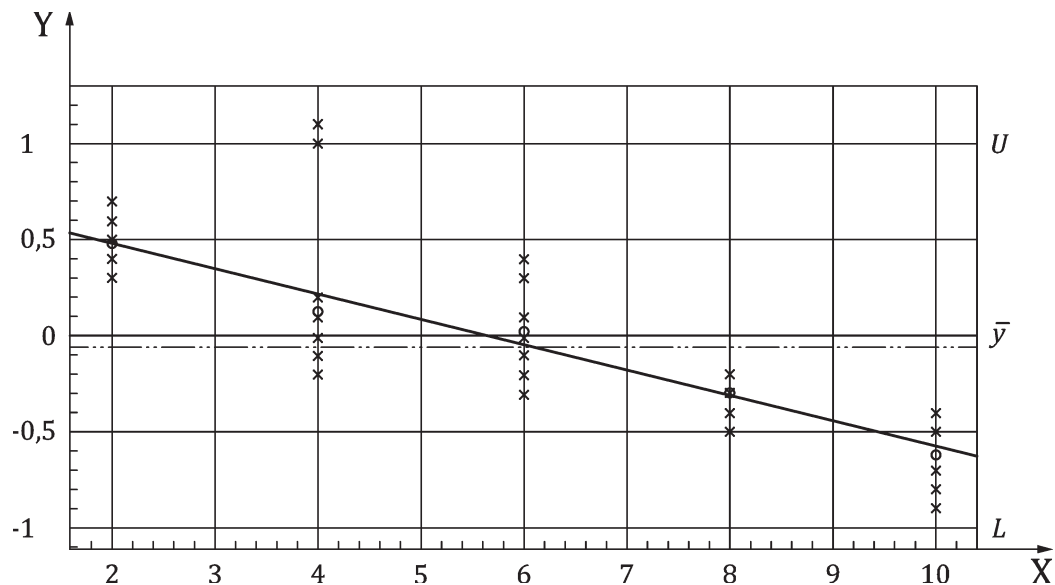
	Messergebnisse an Normalen														
i	x_m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\overline{y}_i$	s
4	8,0	7,6	7,7	7,8	7,7	7,8	7,8	7,8	7,7	7,8	7,5	7,6	7,7	7,71	0,10
5	10,0	9,1	9,3	9,5	9,3	9,4	9,5	9,5	9,5	9,6	9,2	9,3	9,4	9,38	0,15



Legende

- X Durchmesser (kalibrierte Normale)
- Y Durchmesser (Messungen an kalibrierten Normalen)
- U Höchstwert
- $\bar{y}$ Mittel der Werte
- L Mindestwert

Bild 2 — Graphische Darstellung der Linearität



Legende

- X Durchmesser (kalibrierte Normale)
- Y Durchmesser (Messungen an kalibrierten Normalen)
- U Höchstwert
- $\bar{y}$ Mittel der Werte
- L Mindestwert

Bild 3 — Identitätsgerade identisch mit $\bar{y}_i$ minus Regressionsgerade

Falls es einen oder mehrere Ausreißer gibt, sollte der Versuch nach dem Entfernen der entdeckten Ausreißer wiederholt werden.

Bezüglich der Ermittlung von Ausreißern kann der Anwender ISO 16269-4 zurate ziehen. Fehler beim Aufspüren vorhandener Ausreißer werden zu einer falschen Korrektur führen. Informationen zur Berechnung der Unsicherheitsbeiträge und der Regressionsfunktion können Tabelle A.3 entnommen werden.

7.1.4 Schätzungen auf Grundlage der Unsicherheitsbeiträge (Tabelle 8)

Die Berechnung von Schätzwerten für die Unsicherheiten aufgrund einer mangelhaften Anpassung der Regressionsfunktion u_{LIN} und die Wiederholpräzision bei der Messung von Normalen (reine Abweichung) u_{EVR} sollten der Varianzanalyse in Tabelle A.5 entnommen werden.

Tabelle 8 — Von der Linearität stammende Unsicherheit

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Prüfung/Modell der Messung
Linearität	u_{LIN}	$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_{ij}$ $\hat{y} = 0,736\,7 - 0,131\,7x$
		Linearität = 0,58 mm (am oberen Grenzwert $x = 10$ mm).
		$u_{LIN} = \frac{0,58}{\sqrt{3}}$

7.2 Unsicherheitsbeiträge des Messprozesses

7.2.1 Allgemeines

Die Unsicherheitsbeiträge eines unter realen Bedingungen durchgeführten Messprozesses sollten zu den geschätzten Unsicherheitsbeiträgen des Messsystems, die unter 6.2.2 berechnet werden, hinzugefügt werden.

Unter 6.2.3.2 ist ein Standardversuch (Präzisionsversuch) zur Schätzung der Unsicherheitsbeiträge u_{EVO} , u_{AV} , u_{GV} und u_{IAi} festgelegt.

7.2.2 Unsicherheitsbeiträge aus der Varianzanalyse

Die Analysen von Wiederholpräzision und erweiterter Vergleichpräzision stellen unabhängige Schätzwerte für die Wiederholpräzision und die erweiterten Vergleichpräzision des Messprozesses bereit.

Die Analyse sollte wenigstens 5 Werkstücke umfassen, mit entweder

- 1) einer Mindestanzahl von 3 Prüfern mit wenigstens 2 Wiederholungsmessungen, oder
- 2) einer Mindestanzahl von 2 Prüfern mit wenigstens 3 Wiederholungsmessungen.

Ersatzweise sollte in Fällen, in denen nur ein Prüfer verschiedene Messsysteme verwendet, Fall 2 unter Anwendung von wenigstens 2 verschiedenen Messsystemen ersetzt werden, so dass ein Schätzwert für die erweiterte Vergleichpräzision der Einrichtung ermittelt werden kann.

Insgesamt sollte der Mindeststichprobenumfang 30 Messungen betragen.

Die Varianzen und Schätzwerte der Unsicherheitsbeiträge werden einschließlich der Wechselwirkungen zwischen ihnen und den Varianzen aufgegliedert. Wenn die Unsicherheitsbeiträge geschätzt werden, sollte zwischen mehreren verschiedenen Situationen unterschieden werden. Siehe Aufgliederung in Tabelle A.5.

Andere Unsicherheitsbeiträge (z. B. die Stabilität u_{STAB}) können einem erweiterten ANOVA-Modell hinzugefügt werden. In diesem Fall sollte der Versuch unter der Voraussetzung entsprechend erweitert werden, dass gewisse Wechselwirkungen vom Versuch ausgeschlossen werden können; eine geeignete Versuchsplanung zur Begrenzung des versuchstechnischen Aufwands kann genutzt werden.

Weitere Analysebeispiele können ISO/TR 12888 entnommen werden.

8 Berechnung der kombinierten Unsicherheit

8.1 Allgemeines

Die kombinierte Unsicherheit des Messsystems und des Messprozesses ist nach den Vorgaben von Tabelle 9 zu berechnen. Die Berechnung kann nur entsprechend der angegebenen Weise ausgeführt werden, wenn es keine Wechselwirkung zwischen den Komponenten gibt. Weitere Informationen bezüglich der Berechnung sind im ISO/IEC Guide 98-3:2008, Abschnitt 5, aufgeführt.

Tabelle 9 — Unsicherheitsberechnung

Unsicherheitsbeiträge	Formelzeichen	Kombinierte Messunsicherheit
Kalibrierung des Normals oder des Werkstücks	u_{CAL}	$u_{\text{MS}} = \sqrt{u_{\text{CAL}}^2 + u_{\text{LIN}}^2 + u_{\text{BI}}^2 + u_{\text{EV}}^2 + u_{\text{MS-REST}}^2}$ Dabei ist $u_{\text{EV}} = \max\{u_{\text{EVR}}, u_{\text{RE}}\}$ oder Wenn die MPE-Werte anstelle der experimentellen Methode verwendet werden: $u_{\text{MPE}} = \sqrt{\frac{M_{\text{PE1}}^2}{3} + \frac{M_{\text{PE2}}^2}{3} \dots}$
Abweichungen von der Linearität	u_{LIN}	
Bias der Messung	u_{BI}	
Wiederholpräzision bei Normalen	u_{EVR}	
Auflösung	u_{RE}	
Andere Unsicherheitsbeiträge (Messsystem)	$u_{\text{MS-REST}}$	
Wiederholpräzision beim Werkstück	u_{EVO}	$u_{\text{MP}} = \left\{ u_{\text{CAL}}^2 + u_{\text{LIN}}^2 + u_{\text{BI}}^2 + u_{\text{EV}}^2 + u_{\text{MS-REST}}^2 + u_{\text{AV}}^2 + u_{\text{GV}}^2 + u_{\text{STAB}}^2 + u_{\text{OBJ}}^2 + u_{\text{T}}^2 + u_{\text{REST}}^2 + \sum_i u_{\text{IAi}}^2 \right\}^{0,5}$ Dabei ist $u_{\text{EV}} = \max\{u_{\text{EVR}}, u_{\text{EVO}}, u_{\text{RE}}\}$ oder Wenn die MPE-Werte anstelle der experimentellen Methode verwendet werden: $u_{\text{MPE}} = \sqrt{\frac{M_{\text{PE1}}^2}{3} + \frac{M_{\text{PE2}}^2}{3} \dots}$
Erweiterte Vergleichpräzision des Prüfers	u_{AV}	
Erweiterte Vergleichpräzision des Messsystems (Messprozess an verschiedenen Standorten)	u_{GV}	
Erweiterte Vergleichpräzision im zeitlichen Verlauf	u_{STAB}	
Wechselwirkungen	u_{IAi}	
Inhomogenität des Messobjekts	u_{OBJ}	
Temperatur	u_{T}	
Andere Unsicherheitsbeiträge (Messprozess)	u_{REST}	

Die kombinierte Standardunsicherheit kann für das Messsystem unter Verwendung folgender Gleichung geschätzt werden:

$$u_{\text{MS}} = \sqrt{u_{\text{CAL}}^2 + u_{\text{LIN}}^2 + u_{\text{BI}}^2 + u_{\text{EV}}^2 + u_{\text{MS-REST}}^2}$$

Dabei ist

$$u_{\text{EV}} = \max\{u_{\text{EVR}}, u_{\text{RE}}\}$$

Auf ähnliche Weise kann die kombinierte Standardunsicherheit für den Messprozess unter Verwendung folgender Gleichung geschätzt werden:

$$u_{\text{MP}} = \sqrt{u_{\text{CAL}}^2 + u_{\text{LIN}}^2 + u_{\text{BI}}^2 + u_{\text{EV}}^2 + u_{\text{MS-REST}}^2 + u_{\text{AV}}^2 + u_{\text{GV}}^2 + u_{\text{STAB}}^2 + u_{\text{OBJ}}^2 + u_{\text{T}}^2 + u_{\text{REST}}^2 + \sum_i u_{\text{IAi}}^2}$$

Dabei ist

$$u_{EV} = \max \{u_{EVR}, u_{EVO}, u_{RE}\}$$

8.2 Berechnung der erweiterten Unsicherheit

Die erweiterte U_{MS} entsteht aus der Standardunsicherheit u_{MS} durch die Bildung des Produkts aus Unsicherheit und Erweiterungsfaktor k .

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS}$$

Dieselbe Vorgehensweise wird angewandt, um aus der Standardunsicherheit u_{MP} die erweiterte Standardunsicherheit U_{MP} zu erhalten.

$$U_{MP} = k \cdot u_{MP}$$

Die Berechnung der erweiterten Unsicherheit beruht auf einem Vertrauensbereich von ungefähr 95 %; daher wird als Erweiterungsfaktor $k = 2$ verwendet.

ANMERKUNG Falls der Stichprobenumfang n kleiner als der bevorzugte Wert von 30 ist, ist die Anwendung der Studentischen t -Verteilung anstelle der standardisierten Normalverteilung zum Schätzen der Unsicherheitsbeiträge erforderlich. Daraus wird sich dann die erweiterte Messunsicherheit ergeben:

$$U = t_{1-(\alpha/2)}(v) \cdot u$$

Die Zahl der Freiheitsgrade v ergibt sich aus dem Produkt aus der Zahl der Werkstücke, der Zahl der Prüfer, der Zahl der Messgeräte sowie der Zahl der Wiederholungsmessungen, vermindert um 1 ($n \cdot p \cdot (k-1)$).

BEISPIEL 1 3 Werkstücke, 2 Prüfer, 2 Messgeräte und 3 Wiederholungsmessungen:

Bei $v = 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (3 - 1) = 24$ erhält man $t_{1-(\alpha/2)}(24) = 2,11$

BEISPIEL 2 3 Werkstücke, 2 Prüfer, 2 Messgeräte und 2 Wiederholungsmessungen:

Bei $v = 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (2 - 1) = 12$ erhält man $t_{1-(\alpha/2)}(12) = 2,23$

9 Fähigkeit

9.1 Leistungsverhältnisse

9.1.1 Allgemeines

Die Fähigkeit eines Messprozesses kann entweder als Leistungsverhältnis oder als Fähigkeitsindex berechnet werden. Die Berechnung von Indizes wird bevorzugt.

Um ein Messsystem oder einen Messprozess zu bewerten, ist das Leistungsverhältnis (Q_{MS} oder Q_{MP}) auf Grundlage der in Abschnitt 8 angegebenen Messunsicherheiten zu berechnen. Nach Abschnitt 8 wird zwischen dem Leistungsverhältnis für das Messsystem (Q_{MS}) und dem Leistungsverhältnis für den Messprozess (Q_{MP}) unterschieden.

Es wird (durch gängige Praxis) empfohlen, dass Q_{MS} 15 % nicht übersteigen sollte und dass Q_{MP} nicht größer als 30 % sein sollte.

Bezüglich der Unsicherheit der berechneten Verhältnisse sollte der Vertrauensbereich von 95 % berechnet werden.

Die Prozessstreuung (99,73%-Intervall des Produktionsprozesses) kann als alternative Bezugsgröße genutzt werden, wenn der Messprozess als Teil eines SPC-Systems (statistische Prozesslenkung) genutzt wird.