

## VERGLEICH AUF PRAXISTAUGLICHKEIT: QS-9000 (MSA), GUM UND VDA 5

# Prüfprozesse überprüft

Inhaltlich kombiniert VDA-Band 5 die Fähigkeitsuntersuchungen nach QS-9000 und die Bestimmung der Messunsicherheit von Prüfprozessen gemäß GUM auf geeignete Weise. Doch seine praktische Umsetzung erweist sich als schwierig. Eine Gegenüberstellung der statistischen Grundlagen sowie der Stärken und Schwächen bringt Klarheit für den Industrieinsatz.

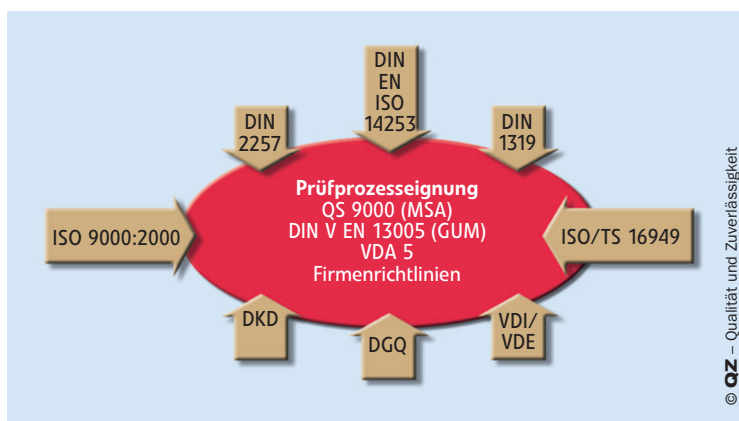
Gerhard Linß und Carsten Zinner, Ilmenau;  
Sirko Dornig und Stephan Sommer, Herzogenaurach

Messwerte dienen als Grundlage zur Beurteilung der Prozesse und müssen den wahren Gegebenheiten ausreichend sicher entsprechen. Geeignete Prüfprozesse stellen sicher, dass der beste Schätzwert für den wahren Wert ermittelt wird. Die Eignung der Prüfprozesse kann auf zweierlei Weise

Inhalt in der Vornorm DIN V EN 13005 umgesetzt wurde [1]. Um eine internationale und branchenübergreifende Vergleichbarkeit zu gewährleisten, bedarf es eines genormten Vorgehens nach GUM. Im Jahr 2002 erschien die 3. Auflage der QS-9000 – Measurement Systems Analysis (MSA), die die Grundlage für indus-

am häufigsten angewandte Methode für Hersteller und Anwender in der Fertigungstechnik. Aufgrund der fehlenden Standardisierung existiert keine einheitliche Vorgehensweise zur Berechnung. Deshalb entstanden in Anlehnung an die QS-9000 (MSA) viele Firmenrichtlinien (Tabelle 1) [4-6]. Mit dem  $C_g$ -/ $C_{gk}$ -Wert (Verfahren 1) wird die systematische Messabweichung und Streuung des Prüfmittels ohne Bedienerinfluss am Prüfnormal beurteilt. Der  $C_g$ -Wert berücksichtigt die Streuung und der  $C_{gk}$ -Wert die systematische Messabweichung. Die Beurteilung des Prüfprozesses schlägt sich im GRR-Verfahren (Verfahren 2) nieder. Hier gehen neben Umweltbedingungen auch der Teile- und Bedienerinfluss ein. In der Automatisierung wird der Bedienerinfluss vernachlässigt (Verfahren 3). Der Gesamtprozess gilt als fähig, wenn die Prüfmittelfähigkeit und die Prüfprozessfähigkeit gegeben sind (Tabelle 1).

Bild 1. Normen und Richtlinien zur Prozesseignung



bestimmt werden: indem die erweiterten Messunsicherheit ermittelt oder indem die Prüfmittelfähigkeit untersucht wird. Beide Verfahren verfolgen das gleiche Ziel und sind unter bestimmten Annahmen ineinander überführbar. Inzwischen hat sich für die Verfahren der Begriff Prozesseignung etabliert. Hierzu existieren verschiedene Anforderungen aus der Norm sowie aus Richtlinien der Automobilindustrie (Bild 1). Im Jahr 1993 erschien der Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), dessen

trielle Verfahren zur Prüfmittelfähigkeit bildet [2]. Als zusammenfassender Leitfadene wurde im Jahr 2003 der VDA-Band 5 zur Prozesseignung konzipiert [3].

## Verfahren nach QS-9000 (MSA)

QS-9000 (MSA), VDA5 und GUM unterscheiden sich in der Berechnung der Kennwerte, und jedes Verfahren besitzt Vor- und Nachteile (Tabelle 1). Die Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung zur quantitativen Bewertung von Messtechnik ist die

### Vorteile QS-9000 (MSA):

- Es werden empirische Messergebnisse ohne Fehlergrenzen berücksichtigt;
- verschiedene Prüfungen sind vergleichbar (zwei Prüfmittel, zwei Prüfprozesse);
- die Standardisierung ist einfach;
- das Regelwerk ist in der Automobilindustrie weltweit gängig;
- die Fähigkeitsuntersuchungen von Prüfmittel und Prüfprozess erfolgen getrennt.

### Nachteile:

- Durch die Beschränkung auf zufällige und systematische Mess-



abweichungen werden unbekannte systematische Messabweichungen nicht erkannt;

- zufällige Messabweichungen können nicht durch die Anzahl der Messungen minimiert werden;
- trotz möglicher Fehlentscheidungen an den Spezifikationsgrenzen werden Prüfprozesse als geeignet deklariert;
- weil kurzzeitige Umfeldeinflüsse berücksichtigt werden, ist eine regelmäßige Durchführung notwendig.

**GUM**

Die DIN EN ISO 14253 enthält qualitative Forderungen, die die Unsicherheit bei scharf gezogenen Toleranzgrenzen berücksichtigen sollen [7]. Doch was heißt Unsicherheit? Nach GUM ist die Unsicherheit ein dem Messergebnis zugeordneter Wert, der die Streuung der Messwerte kennzeichnet. Die systematischen Messabweichungen sollen, sofern dies möglich ist, eliminiert werden. Die Ermittlung der Messunsicherheit wird nach GUM beschrieben [1]. Zur Beschreibung des Prüfprozesses wird zunächst eine Modellfunktion  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  aufgestellt, die die realen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Eingangsgrößen  $X_1, X_2, \dots, X_n$  und der Messgröße  $Y$  darstellt. Bei Ermittlung der Standardmessunsicherheiten der Eingangsgrößen unterscheidet GUM an dieser Stelle zwei Verfahrenstypen: Typ A beinhaltet die Berechnung der Einzelunsicherheiten mit statistischen Methoden aus einer Reihe von Beobachtungen. Bei Typ B werden die Standardmessunsicherheiten von Einflussgrößen aus einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion und deren Fehler-

grenzen abgeschätzt. Die Verteilungsform ergibt sich aus wissenschaftlichen und messtechnischen Kenntnissen.

Die Unsicherheitsbeiträge aufgrund von unbekanntem systematischen Messabweichungen (z. B. Verschmutzung und Verschleiß) werden nach GUM wie zufällige Messabweichungen nach dem Gesetz der Fortpflanzung zufälliger Fehler behandelt. Aus den Standardmessunsicherheiten, welche den Eingangswerten zugeordnet sind, ergeben sich die Standardmessunsicherheiten für den Messwert nach folgendem Schema: Zunächst sind die Unsicherheitsbeiträge der Einflussgrößen unter Berücksichtigung der Korrelationskoeffizienten  $c_i$  partiell abzuleiten und zur kombinierten Standardmessunsicherheit  $u_c(y)$  zusammenzufassen. Der Empfindlichkeitskoeffizient  $c_i$  beschreibt, wie die Ausgangsgröße  $Y$  bei Veränderung der Eingangsschätzwerte  $x_i$  variiert. Nach der Fehlerfortpflanzung zufälliger Messunsicherheiten (Gauß-Verfahren) ergibt sich die Standardunsicherheit des Messergebnisses als Quadratwurzel aus der Summe aller quadrierten Unsicherheitsbeiträge, in der der Korrelationskoeffizient  $r(x_i, x_j)$  Berücksichtigung findet. Im Allgemeinen werden die Eingangsgrößen als nicht korreliert angesehen, so dass der Korrelationskoeffizient den Wert 1 annimmt. Folglich gilt:

$$u_c(y) = u(y) = \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + \dots + u_n^2(y)}$$

Obwohl sich  $u_c(y)$  universell zur Angabe der Messunsicherheit eines Messgerätes verwenden lässt, ist es in bestimmten industriellen Anwendungen besonders aus Gründen der Sicherheit erforderlich, die Unsicherheit als Intervall um das Messergebnis anzugeben. Dieses Intervall stellt

**Autoren**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß**, geb. 1949, ist Institutsdirektor des IPTA, Institut für Präzisionstechnik und Automation, sowie Leiter des Fachgebietes Qualitätssicherung der Fakultät für Maschinenbau der TU Ilmenau. Forschungsschwerpunkte sind automatisierte Methoden und Werkzeuge des Qualitätsmanagements, Bildverarbeitung für die Qualitätssicherung und Messautomaten.

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Carsten Zinner**, geb. 1976, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Qualitätssicherung der Fakultät Maschinenbau der TU Ilmenau.

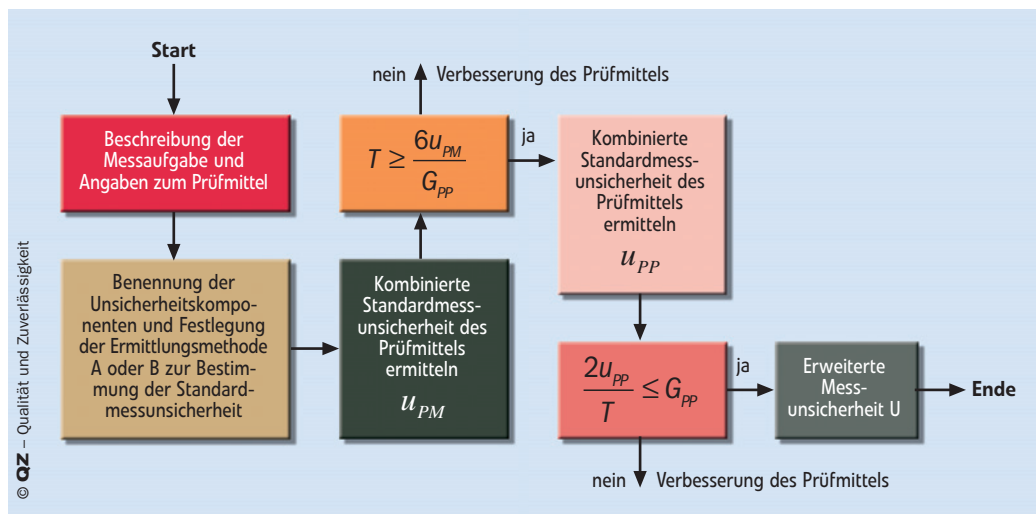
**Sirko Dornig**, geb. 1978, studiert Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Ilmenau und ist als Diplomand bei der INA-Schaeffler KG in Herzogenaurach tätig.

**Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stephan Sommer**, geb. 1967, leitet die Abteilung Qualitätssicherung im Geschäftsbereich Entwicklung Maschinensysteme der INA-Schaeffler KG in Herzogenaurach.

**Kontakt**

**Carsten Zinner**  
 TU Ilmenau  
 T 0 36 77/69-3963  
 carsten.zinner@tu-ilmenau.de

den Bereich dar, von dem erwartet werden kann, dass er einen Großteil der Werte umfasst, die der gemessenen Größe sinnvollerweise zugeordnet werden können. Dieses zusätzliche Maß erfüllt die erweiterte Messunsicherheit, die mit  $U$  bezeichnet wird (Tabelle 1).



**Bild 2. Vorgehensweise zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheit nach VDA 5**

## Prüfprozesse im Vergleich

- Die QS-9000 (MSA) ist heutiger Industriestandard weltweit. Das Regelwerk ist einfach anzuwenden, besitzt einen überschaubaren Aufwand.
- Der Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) ist der Standard des gesetzlichen Messwesens. Es erfolgt eine aufwendige Berechnung (Sensitivität und Korrelation).
- VDA-Band 5 ist eine Kombination aus QS-9000(MSA) und GUM und beinhaltet eine Vereinfachung der GUM-Methoden, bei der Sensitivitäts- und Korrelationskoeffizienten nicht berücksichtigt werden. Die Prüfprozessunsicherheit wird auf die zu prüfende Toleranz bezogen. VDA-Band 5 enthält eine rationale und praktikable Methode zur Beschreibung der Prüfprozesseignung.

## Literatur

- 1 DIN V EN 13005: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen – Deutsche Übersetzung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“. Beuth Verlag, Berlin 1995
- 2 Chrysler Corp., Ford Motor Co., General Motors Corp. (Hrsg.): Analyse von Messsystemen (MSA). Referenzhandbuch. Carwin Ltd., Essex 2002
- 3 Verband der Deutschen Automobilindustrie e.V. (VDA) (Hrsg.): Prüfprozesseignung – Verwendbarkeit von Prüfmitteln, Eignung von Prüfprozessen, Berücksichtigung von Messunsicherheiten. Heinrich Druck und Medien, Frankfurt/M. 2003
- 4 Linß, G.: Qualitätsmanagement für Ingenieure. Carl Hanser Verlag, München 2002
- 5 Linß, G.: Training Qualitätsmanagement. Carl Hanser Verlag, München 2003
- 6 Dietrich, E.; Schulze, A.: Eignungsnachweis von Prüfprozessen – Prüfmittelfähigkeit und Messunsicherheit im aktuellen Normenumfeld. Carl Hanser Verlag, München 2003
- 7 DIN EN ISO 14253-1: Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messungen. Beuth Verlag, Berlin 1996

## Vorteile GUM:

- Die Norm ist international gültig;
- Einschränkungen an den Spezifikationsgrenzen sind möglich;
- das  $\sqrt{n^*}$ -Gesetz ( $n^*$  = Anzahl der Messungen zur Ermittlung eines Messwertes im Fertigungsprozess) wird als gültig anerkannt;
- Einflüsse lassen sich aufgrund der Verteilungsdichten und Trendbetrachtungen trennen.

## Nachteile:

- Der Ansatz ist theoretisch;
- die Messunsicherheitsbetrachtungen von Prüfprozess und Prüfmittel werden nicht getrennt;
- bei nichtlinearen Modellen wird die Berechnung der Sensitivitätskoeffizienten unüberschaubar;
- GUM besitzt kein Referenzsystem: Weil Messgeräte in der Kalibrierkette rückverfolgbar sind, besteht keine Möglichkeit, unbekannt systematische Fehler zu ermitteln;
- weil die Anzahl der Messungen nach Typ A nicht explizit angegeben wird, ist die Vergleichbarkeit eingeschränkt.

## VDA-Band 5

Wie bei der Prüfmittelfähigkeit unterscheidet die Richtlinie zwischen der Unsicherheit des Prüfmittels (entsprechend dem Verfahren 1 nach QS-9000 (MSA)) und der Unsicherheit des gesamten Prüfprozesses (entsprechend den Verfahren 2 und 3). Bis auf die vereinzelt fehlenden Einflussfaktoren kann das Verfahren der Prüfmittelfähigkeit in das Verfahren der Unsicherheit übertragen werden. Im Unterschied zu GUM gibt der VDA-Band 5 ein standardisiertes Verfahren für die Praxis vor. Der Vergleich zeigt, dass die Messunsicherheit für einen Messprozess genauso praktikabel ermittelt werden kann wie für den Eignungsnachweis der Prüfmittel. Die Unsicherheitskomponenten von fehlenden Einflussfaktoren sind zu ergänzen. Aus den Daten der Prüfmittelfähigkeit können die Schätzwerte der Messunsicherheit abgeleitet werden. Diese Vorgehensweise ist wichtig, da viele Firmen ihre Datensätze auf Prüfmittelfähigkeit angeglichen haben. VDA 5 wendet Vereinfachungen des GUM an. Der Sensitivitätskoeffizient  $c_i$  und die Korrelationen  $r(x_i, x_j)$  der Eingangsgrößen werden gleich eins gesetzt (Bild 2). Trotz der einfachen Berechnung der Prüfprozessfähigkeitsverfahren nach QS-9000 ▷

Kennwerte und Kriterien	bestehende Verfahren sowie QS-9000 (MSA)	VDA-Band 5	GUM
Auflösung	Auflösung (%) ≤ 5% der Toleranz	1. Auflösung (%) ≤ 5% und 2. $u_{Aufl} = 0,5$ [0,6*Auflösung] $u_{Aufl}$ - Unsicherheit der Auflösung	$u_{Aufl} = \frac{\delta_x}{\sqrt{12}}$ mit $\delta_x$ -Auflösung
Kalibrierunsicherheit	nicht berücksichtigt	$u_{kal} = \frac{u_{kal}}{k_{kal}}$ $u_{kal}$ - erweiterte Kalibrierunsicherheit (z. B. aus dem Kalibrierschein) $k_{kal}$ - Kalibriererweiterungsfaktor (z. B. $k=2$ )	$u_{kal} = \frac{u_{kal}}{k_{kal}}$
Potenzial des Prüfmittels	$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6s_g}$ $c_g = \frac{0,15 \cdot s_p}{6s_g}$ (99,73 % Vertrauensniveau)  $\sigma_p$ - Prozessstandardabweichung $s_g$ - empirische Standardabweichung der Einzelwerte $T$ - Toleranz	<b>Methode A:</b> $n^* = 1: u(x_A) = s_n = u_w$ $n^* > 1: u(x_A) = s_{xA} = s_n / \sqrt{n^*}$  <b>Methode B:</b> $u(x_B) = U / k$ mit $k=2$ (95% Vertrauensniveau) $u(x_B) = a \cdot b$ $u(x_i)$ - Standardunsicherheit nach Methode $i = A$ oder $B$ $a$ - Fehlergrenzwert $b$ - Verteilungsfaktor $n$ - Anzahl der Messungen am Referenzteil $n^*$ - Anzahl Messungen zur Ermittlung eines Messwertes im Fertigungsprozess	<b>Methode A:</b> $n^* = 1: u(x_i) = s_n$ $n^* > 1: u(x_i) = \frac{u(x_i)}{\sqrt{n^*}}$  <b>Methode B:</b> $u(x_B) = a \cdot b$  $u(x_i)$ - Messunsicherheit der Einflussfaktoren $x_i$ $u(\bar{x}_i)$ - Unsicherheit des Mittelwertes aller Stichproben
	Bedingung: 1 Bediener führt 25 Messungen an einem Referenzteil durch (kein Referenzwert notwendig)	Bedingung: 1 Bediener führt an einem Referenzteil in einer definierten Messebene 25 Messungen durch	Bedingung: Forderung nach ausreichender Anzahl von Messungen
	Berechnungsbasis: $s_g$ - empirische Standardabweichung der Einzelwerte $T$ - Toleranz	Berechnungsbasis: $s_n$ - Standardabweichung der Einzelwerte, ermittelt in einer definierten Messebene $s_{\bar{x}_i}$ - Standardabweichung der Mittelwerte aus Mehrfachmessungen	Berechnungsbasis: $s_n$ - Standardabweichung der Einzelwerte  $s_{\bar{x}_i}$ - Standardabweichung der Mittelwerte aus Mehrfachmessungen im Fertigungsprozess
Fähigkeit des Prüfmittels	$C_{pk} = \frac{0,1 \cdot T - (\bar{x}_g - x_m)}{3s_g}$ $\bar{x}_g$ - Mittelwert der Einzelwerte $x_m$ - Referenzwert	$u_{sys} = u_{sys} = 0,60 [\text{Max}\{e_s\}]$ mit $e_s =  \bar{x}_i - \bar{x}_{mi} $  $u_{sys}$ - systematischer Anteil der Unsicherheit $x_i$ - Mittelwert der Einzelwerte $\bar{x}_{mi}$ - Referenzwert	Die unbekannt systematischen Fehler besitzen zufälligen Charakter und werden geometrisch addiert (Fehlerfortpflanzungsgesetz). Ermittelt werden die unbekannt systematischen Fehler durch Ringversuche. Fortpflanzungsgesetz zufälliger Fehler: $s_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 s_i^2$ für $\sigma_i \ll x_i$
	Bedingung: 1 Bediener führt 25 Messungen an einem Referenzteil durch (Referenzwert notwendig)	Bedingung: 1 Bediener misst drei Referenzteile je 10 Mal oben, in der Mitte und unten im Toleranzbereich (Referenzwert notwendig)	Bedingung: keine Angabe
Wiederholbarkeit	$EV = K_1 \bar{R}$ $EV$ - Wiederholpräzision $\bar{R}$ - Mittelwert der mittleren Spannweiten $K_1 = 0,8862$ [1]	$u_{MM} = \frac{1}{K_1} \cdot \bar{R}$ $u_{MM}$ - Unsicherheit des Messmittels $K_1$ - Faktor ist abhängig von Anzahl der Prüfer, der Teile $g$ und der Wiederholungen $m$ ( $K_1=1,128$ für $g=10, m=2$ mit 3 Prüfern für $k \cdot n > 15$ ) $\bar{R}$ - Mittelwert der mittleren Spannweiten	Die Wiederholbarkeit kann durch Streuungswerte der Ergebnisse aufgezeigt werden. Die Vorgehensweise wird nicht beschrieben.
Bediener einfluss	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{Dif} K_2)^2 - EV^2} / (nr)$ $AV$ - Vergleichspräzision $x_{Dif}$ - Spannweite der Mittelwerte $n$ - Anzahl der Messwerte pro Reihe $r$ - Anzahl der Messreihen pro Bediener $EV$ - Wiederholpräzision $K_2 = 0,5231$ [1]	1. Mögl.: $u_{Bed} = R_{max} / (2 \cdot b)$ 2. Mögl.: $u_{AV} = K_2 \bar{X}_{Dif}$ 3. Mögl.: $u_{Bed} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2}$ $u_{Bed} = s_{Bed} = s_{\bar{x}_i}$  $u_{Bed}$ - Unsicherheit durch den Bediener einfluss $R_{max}$ - größte Spannweite zwischen den Mittelwerten der 3 Messreihen der Bediener $\bar{X}_{Dif}$ - Spannweite der Mittelwerte	Mit der Methode der Varianzanalyse werden die Messreihen miteinander verglichen. Diese Messwerte werden durch Ringversuche ermittelt. $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$
	Bedingung: 3 Bediener messen 10 Serienteile oben, in der Mitte und unten im Toleranzbereich je 2 Mal	Bedingung: 1. Mögl.: 10 Werte von 3 Bedienern 2./3. Mögl.: Bediener messen ein Referenzteil jeweils 20 Mal; Ermittlung der Standardabweichung aus den Messwerten	Bedingung: ausreichend große Anzahl von Messwerten, keine weiteren Angaben
	Berechnungsbasis: $\bar{X}_{Dif}$ - durchschnittliche Differenz zwischen den Mittelwerten der Bediener	Berechnungsbasis: $s_{Bed} = u_{Bed}$  $s_{Bed}$ - Standardabweichung der Mittelwerte der Bediener	Berechnungsbasis: $s_{Bed} = u_{Bed}$  $s_{Bed}$ - Standardabweichung der Mittelwerte der Bediener

Kennwerte und Kriterien	bestehende Verfahren sowie QS-9000 (MSA)	VDA-Band 5	GUM
Objekt-einfluss	indirekt im GRR-Wert mit 10 Serienteilen berücksichtigt	$u_{\text{objekt}} = \frac{s_{\text{obj}}}{\sqrt{n}}$ wenn Gerätestreue klein ist, so ist $s_{\text{obj}}$ gleich der Standardabweichung $s$ aus 25 Messungen (idealer Körper), ansonsten gilt: $s_{\text{objekt}} = \sqrt{s^2 - s_n^2}$	Mit der Methode der Varianzanalyse werden die Messreihen miteinander verglichen. Diese Messwerte werden durch Ringversuche ermittelt. $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$
	Bedingung: 3 Bediener messen 10 Serienteile oben, in der Mitte und unten im Toleranzbereich je 2 Mal	Bedingung: 3 Bediener messen 10 Serienteile (oben, in der Mitte und unten im Toleranzbereich) je 2 Mal	Bedingung: keine Angaben
	Berechnungsbasis: $\bar{R}$ = Mittelwert der mittleren Spannweiten	Berechnungsbasis: $s_{\text{objekt}} = \sqrt{s^2 - s_n^2}$ $s_n$ - Standardabweichung der Einzelwerte	Berechnungsbasis: $s_0$ - Standardabweichung der Einzelwerte $s_{\bar{x}}$ - Standardabweichung der Mittelwerte aus Mehrfachmessungen im Fertigungsprozess
Umgebungs-einflüsse	Kurzfristige Umwelteinflüsse werden indirekt im $C_{g^*}$ , $C_{gk^*}$ sowie dem GRR-Wert berücksichtigt	$u_{\text{Temp}} = \text{Tabellenwert}[u1] \frac{\text{Prüfmaß}}{100}$ und $u_{\text{Temp}} = 0,6 \cdot a$ $a =  \Delta L  + 2u_{\text{rest}}$ $\Delta L$ - Längenänderung zur effektiven Länge $u_{\text{rest}}$ - Unsicherheiten der Ausdehnungskoeffizienten und Temperaturen	$u(\mu_i) = a \cdot b$ Im technischen Bericht ISO TR 16015 ist die Berücksichtigung des Temperatureinflusses in Bezug zur Unsicherheit der Längenmessung beschrieben.
Kriterium Prüfmittel	$C_g \geq 1,33$ $C_{gk} \geq 1,33$ > Prüfmittel fähig	$u_{PM} = \sqrt{u(x_{A/B})^2 + u^2_{\text{sys}} + u^2_{\text{kal}} + u^2_{\text{Auff}}}$ $G_{pp} \geq \frac{6u_{PM}}{T}$ > Prüfmittel geeignet $G_{pp}$ - Grenzwert des Eignungskennwertes Prüfprozess (je nach Toleranzklasse DIN 287 von 0,2 bis 0,4) $u_{PM}$ - Standardunsicherheit des Prüfmittels	Es erfolgt keine getrennte Bewertung des Prüfmittels, es wird eine Gesamtbewertung vorgenommen
Kriterium Prozess	$GRR = \sqrt{AV^2 + EV^2}$	$u_{pp} = \sqrt{u^2_{\text{temp}} + u^2_{\text{Bed}} + u^2_{\text{objekt}}}$	Es erfolgt keine getrennte Bewertung des Prozesses, es wird eine Gesamtbewertung vorgenommen
Zusammenfassung der Kriterien (Prüfprozess und Prüfmittel)	$C_g \geq 1,33$ $C_{gk} \geq 1,33$ und %GRR < 10 % für neue Messsysteme %GRR ≤ 30 % für im Einsatz befindliche Messgeräte > Prüfmittel und Prüfprozess fähig	$u(y) = \sqrt{u^2_{PM} + u^2_{PP}}$ $U = k \cdot u(y)$ $g_{pp} = \frac{2U}{T} \leq 0,2 \dots 0,4$ > Prüfprozess geeignet $u_{pp}$ - Unsicherheit des Prüfprozesses $g_{pp}$ - Kennwert Prüfprozesseignung aus DIN 286 entnehmen $u(y)$ - kombinierte Standardunsicherheit $U$ - erweiterte Unsicherheit $K$ - Erweiterungsfaktor (z. B. $k = 2$ für ein 95 %-Vertrauensniveau)	$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i; x_j)$ mit $r(x_i; x_j) = \frac{u(x_i; x_j)}{u(x_i) u(x_j)}$ $c_i = \frac{\delta f}{\delta x_i}$ $u(x_i; x_j)$ - Kovarianz $r(x_i; x_j)$ - Korrelationskoeffizient $c_i$ - Sensitivitätskoeffizienten Für $r = 1$ und $c_i = 1$ ergibt sich wie nach VDA 5 $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u(x_i)^2}$ und $U = k \cdot u_c(y)$ kein Entscheidungskriterium für den Gesamtprozess

Tabelle 1. Statistische Kenngrößen nach QS-9000 (MSA), GUM und VDA 5 im Vergleich

(MSA) sind die berechneten Werte mit den berechneten Werten nach VDA 5 vergleichbar. Unter bestimmten Voraussetzungen, d. h. bei gleichem Vertrauensniveau und  $n > \infty$  lassen sich die Kennwerte der Fähigkeitsuntersuchung und die Komponenten der Messunsicherheit vergleichen. Es ist wichtig, dass unter diesen Umständen die Anzahl der Messungen so-

wie die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messwerte keine Auswirkungen auf das Vertrauensniveau haben.

**Vorteile VDA 5:**

- Es handelt sich um ein standardisiertes Verfahren;
- die Vereinfachungen sind praxisgerecht;
- Prüfmittel und Prüfprozess werden ge-

trennt betrachtet;

- die Untersuchung der Prüfmittelfähigkeit und die Bestimmung der Messunsicherheit erfolgen gleichzeitig.

**Nachteile:**

- Die Richtlinie ist nicht international anerkannt;
- Sensitivität und Korrelation werden vereinfacht dargestellt. □