

Vergleich der Eignungsnachweise für Messprozesse nach VDA Band 5 und MSA

Historie

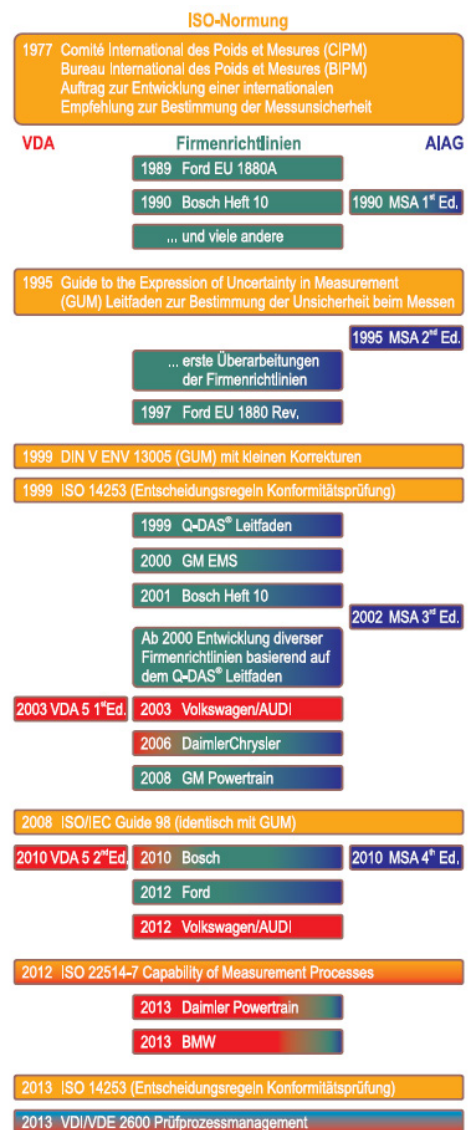
Wer kennt sie nicht – die berühmte Aussage über die Kunst des Messen: „Wer misst, misst Mist, und wer viel misst, misst viel Mist“. Die zentrale Frage bei allen Arten des Messens ist die Frage nach Genauigkeit und Präzision. Erste bekannte Verfahren, die Genauigkeit beim Messen zu gewährleisten, stammen aus dem alten Ägypten. Schon 2500 v. Chr. wurde eine „Königliche Elle“ aus Stein gefertigt, um bei Bauarbeiten oder Wasserstandsmessungen am Nil möglichst vergleichbare Ergebnisse zu erzeugen. Wer heutzutage Paris besucht, sollte sich genauer umsehen, denn dort findet man an Hauswänden noch zwei Maßverkörperungen des Standard-Meters aus dem 18. Jahrhundert, damit die Bevölkerung und insbesondere die Händler eigene Maßstäbe abgleichen konnten. Aus dieser Zeit stammt auch der erste Messing-Urmeter. Wenige Jahre später wurde ein „definitives Urmeter“ aus Platin hergestellt, das 100 Jahre später durch ein Urmeter in Platin-Iridium-Legierung ersetzt wurde. Knapp 80 Jahre später wurde der Meterprototyp durch die Wellenlänge eines Krypton-Elektronenübergangs im Vakuum definiert; 1983 dann schlussendlich als Lauflänge des Lichts im Vakuum über eine definierte Zeit. Alle diese Neudefinitionen hatten nicht das Ziel, das Maß eines Meter an sich neu zu definieren – es ging lediglich darum, die Präzision zu erhöhen.

GUM - Guide to the expression of uncertainty in measurement

Umso überraschender mag es erscheinen, dass zu dem Zeitpunkt der jetzt gültigen Festlegung des Meters im SI-System noch keine einheitliche Regelung vorlag, wie die „Genauigkeit“ einer Messung zu bewerten ist. Zwar hatte das Internationale Komitee für Maß und Gewicht (CIPM) schon 1977 an das Internationale Büro für Maß und Gewicht (BIPM) den Auftrag erteilt, eine Empfehlung zur Berechnung der Messunsicherheit zu erarbeiten, aber erst 1986 wurde der Auftrag an ISO erteilt, einen detaillierten Leitfaden auf Grundlage dieser Empfehlung zu erstellen; dieser erschien 1995 als „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ (GUM).

Die Anfänge der Messsystemanalyse

Zu dieser Zeit versuchte allerdings auch die Automobilindustrie SPC mit der heute selbstverständlichen Werker selbstprüfung in der Produktion einzuführen. In Maschinennähe wurden an sogenannten SPC-Messplätzen diverse Messgeräte zur Verfügung gestellt, um bei Bedarf die erforderliche Messung direkt durchführen zu können. Zu der Frage, ob die jeweiligen Messgeräte überhaupt in der Lage seien, mit einer ausreichenden Genauigkeit die Messaufgabe zu erfüllen, machte man sich zunächst wenig Gedanken. Bald musste man aber feststellen, dass die beobachteten Streuungen nicht nur im



Zeitliche Entwicklung der Messunsicherheit und der Messsystemanalyse

Fertigungsprozess selbst, sondern auch in einem nicht zu unterschätzenden Maße im Messprozess entstehen. Oftmals war die Streuung infolge des Messprozesses sogar größer als die Streuung des Fertigungsprozesses. Spätestens jetzt war der Zeitpunkt gekommen, sich mit dem Thema „Eignungsnachweise von Mess- bzw. Prüfprozessen“ zu beschäftigen. Die Automobilindustrie sah dabei nicht eine detaillierte analytische Bewertung der Messunsicherheit im Vordergrund, sondern vielmehr eine allgemeine Beurteilung der Anwendbarkeit des Messprozesses für einen speziellen Anwendungsfall. So entstand z. B. bei Ford 1989 ein dünnes Heft, in dem empfohlen wurde, einen Messprozess einer zweistufigen Untersuchung zu unterziehen. Zuerst sollte ein Referenzteil fünfzig Mal vermessen werden, zufällige und systematische Abweichungen wurden angelehnt an die SPC-Methoden mit C_g und C_{gk} bewertet. Danach wurden 10 Werkstücke von 3 Prüfern je 3 Mal gemessen, wodurch die Wiederholbarkeit (Repeatability) und Vergleichbarkeit (Reproducibility) im realen Anwendungsfall mit dem Kennwert %R&R (heute %GRR) bewertet werden konnte. Diese beiden Verfahren heißen bis heute „Verfahren 1“ und „Verfahren 2“.

Das AIAG Referenzhandbuch „Measurement System Analysis“

Die Automotive Industry Action Group AIAG erkannte sehr richtig, dass die Entwicklung einer Vielzahl differierender Leitfäden in der Automobilindustrie nicht erstrebenswert war und veröffentlichte 1990



MSA damals und heute

einen Leitfaden „Measurement System Analysis“, der aber leider nicht alle Methoden der Firmenrichtlinien übernahm. So kam es, dass die „Big Three“ (Ford, GM, Chrysler) zwar über die AIAG eine gemeinsame Verbandsrichtlinie besaßen, im Detail aber weiterhin spezielle Firmenrichtlinien entwickelten. Die AIAG MSA gewann sehr schnell an Bedeutung, als sie im Rahmen der Zertifizierung der QM-

Systeme nach QS 9000 im Jahr 1995 zu einem Referenzhandbuch wurde, das bis heute unter dem Begriff AIAG Core Tool MSA als ein Referenzhandbuch zur ISO/TS 16949 gilt. Insofern ist die AIAG MSA heute, weltweit betrachtet, das am weitesten verbreitete Dokument, das bei dieser Thematik referenziert wird.

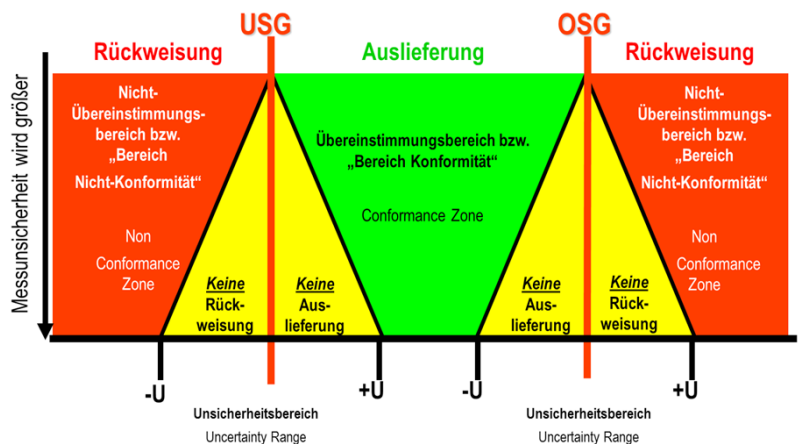
Die AIAG MSA und die Firmenrichtlinien

Die AIAG MSA ist heute in der 4. Auflage gültig. Die beiden ersten Kapitel des Buches sind eher als „Lehrbuch“ zu verstehen, in denen Grundlagen des Messens diskutiert und Aspekte des Eignungsnachweises vorgestellt werden, während in Kapitel 3 konkrete Methoden zur Untersuchung der Fähigkeit von Messsystemen und Messprozessen empfohlen werden. Allerdings lässt die AIAG MSA sehr viele Freiräume bei Versuchsdurchführung und Interpretation der Ergebnisse und unterstützt darüber hinaus bis heute nicht das in allen Firmenrichtlinien vertretene Verfahren 1, sodass die gewünschte Harmonisierung nicht stattgefunden hat. Konsequenterweise wurden die Firmenrichtlinien für Fähigkeitsuntersuchungen ebenfalls kontinuierlich angepasst und weiterentwickelt. Im deutschsprachigen Raum ist Bosch Heft 10 zur „Fähigkeit von Mess- und Prüfprozessen“ wohl das am meisten bekannte Dokument.

Die Entwicklung in der Normung

Parallel dazu wurde auf der Normungsseite der Aspekt der Messunsicherheit weiter verfolgt und in Normen verankert. So müssen z. B. alle Kalibrierlabore für eine Akkreditierung nach ISO/IEC 17025 die erweiterte Messunsicherheit gemäß GUM nachweisen, und zwar für alle Einheiten, die von den Laboratorien zur Kalibrierung von Messgeräten genutzt werden. Bei der Abnahme von Koordinatenmessgeräten müssen Normen wie die ISO 15530 bzw. die VDI/VDE 2617 Blatt 8 erfüllt werden, die den Nachweis einer Messunsicherheit fordern. Auch im Rahmen der Produkthaftung ist die Bewertung der Messunsicherheit maßgeblich. Für eine Konformitätsprüfung muss nach ISO

14253-1 die Messunsicherheit an den Toleranzgrenzen berücksichtigt werden. Der "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM) gab zur Berechnung allerdings keine konkreten Methoden vor, sondern definierte nur die Rahmenbedingungen zur Berechnung der Unsicherheit. Nach seinen Worten „...kann [es] sich deshalb als notwendig erweisen, auf der Grundlage dieses Leitfadens weitere Normen zu entwickeln, die sich mit [...] den verschiedenen Anwendungen [...] befassen.“ Weiterhin: „Obwohl der Leitfaden den Rahmen für die Bewertung der Unsicherheit setzt, kann er kritisches Denken, intellektuelle Redlichkeit und berufliches Können nicht ersetzen.“ Darüber hinaus wird in GUM jede Bewertung der Messunsicherheit abgelehnt. Ziel ist nur die objektive Angabe der Messunsicherheit, ein Eignungsnachweis für einen konkreten Anwendungsfall ist damit nicht möglich.

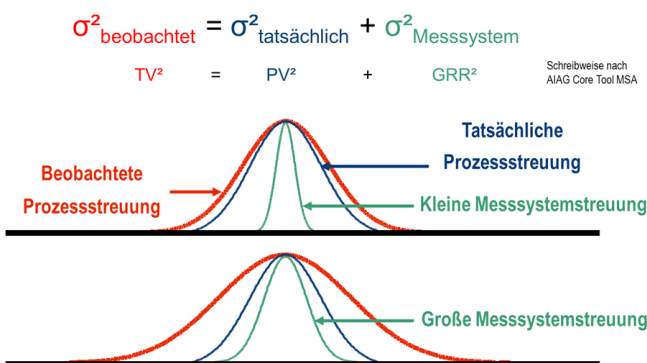


Anforderung nach ISO 14253-1

Vorgehensweisen nach AIAG MSA

Andererseits lehntes aber die AIAG MSA aufgrund der Komplexität ab, eine vollständige Messunsicherheit zu berechnen. Es sollen nur bekannte kritische Streukomponenten wie Bias, Wiederholpräzision und Vergleichspräzision, Linearität sowie zeitliche Stabilität im realen Anwendungsfall untersucht und bewertet werden, um sicherzustellen, dass das Messsystem im SPC-Umfeld genutzt werden kann. In diesem Zusammenhang gilt übrigens eine Variante der altbekannten „Zehntel-Regel“.

Auswirkung der Messsystemstreuung auf die beobachtete Prozessstreuung



Verständnis der AIAG MSA und „1/10-Regel“

Die Streuung des Messsystems wird vornehmlich zu einer Vergrößerung der beobachteten Prozessstreuung führen. Da sich Streuungen quadratisch addieren (Varianzen), führt eine zusätzliche Streuung von 10% zu einer Erhöhung der Gesamtstreuung um weniger als 1%; insofern gilt ein Messsystem mit einer Streuung von %GRR ≤ 10% als akzeptabel. Bis %GRR = 30% gilt ein Messprozess als bedingt fähig, je nach Prozessrisiko können diese Messprozesse noch freigegeben werden. Eine detailliertere Untersuchung ist somit gar nicht notwendig;

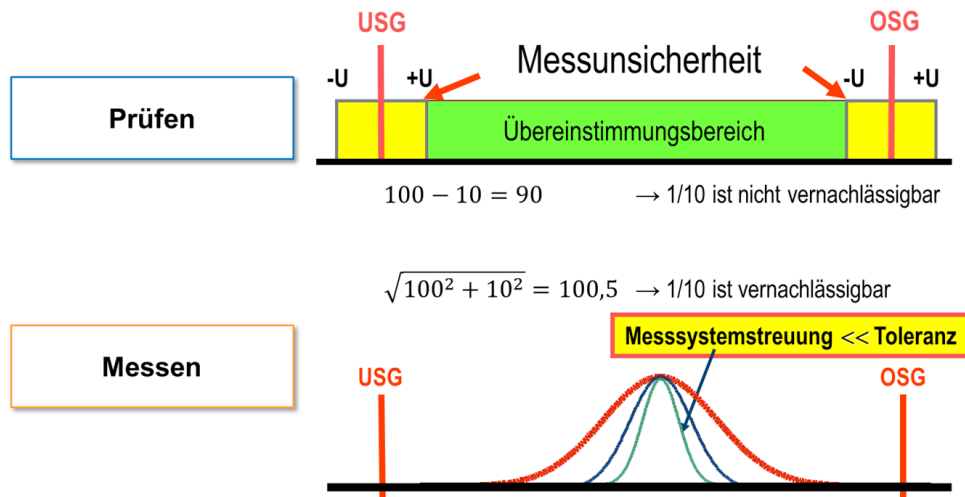
die untersuchten Streukomponenten werden konsequenterweise auch nicht als Unsicherheiten ausgewiesen. Kritische Unsicherheitskomponenten wie Auflösung RE und Kalibrierunsicherheit Ucal werden durch definierte Randbedingungen bei den Verfahren als vernachlässigbar vorausgesetzt. Unsicherheitskomponenten aus Umgebungseinflüssen oder Messobjekt berücksichtigt die AIAG MSA nicht, sondern versucht, gerade diese Einflüsse im Rahmen der Abnahmen konstant zu halten. Erst mit den Stabilitätsprüfungen werden Umgebungseinflüsse relevant.

Das Dilemma des Anwenders

Damit steht der Anwender nun allerdings vor einem Dilemma:

- Für Serienmessprozesse im SPC-Umfeld ist eine Fähigkeitsuntersuchung ausreichend.
- Für Konformitätsprüfungen muss die Messunsicherheit bekannt sein.

Darüber hinaus sind für Einzelmessprozesse (R&D, Sonderanfertigungen, Musterbau, Werkzeugbau, ...) Fähigkeiten selten durchführbar, weil die Messungen zur Fähigkeitsanalyse oftmals die Anzahl der Messungen an den Teilen weit überschreiten, die Teilevielfalt viel zu hoch und die produzierten Teile deutlich unter den notwendigen Teilen für Verfahren 2 liegen.

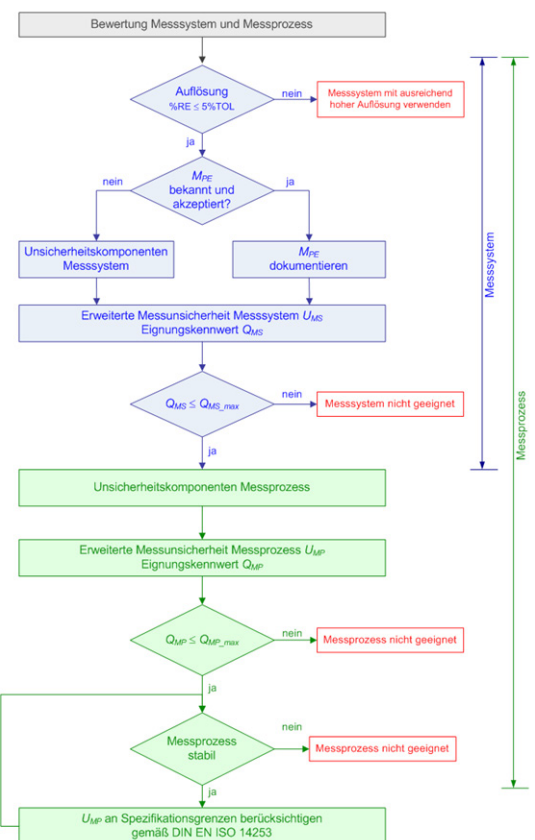


Auswirkung der Messunsicherheit bei Messen und Prüfen

Vorgehensweisen nach VDA Band 5

Nicht zuletzt aus diesen Gründen hat der VDA beschlossen, einen Leitfaden zu entwickeln, der sowohl Fähigkeitsuntersuchungen zulässt als auch eine Messunsicherheit berechnet, die bei Konformitätsprüfungen berücksichtigt werden kann. Durch repräsentative Untersuchungen typischer gleichartiger Messprozesse lässt sich damit auch ein Wissenspool aufbauen, der es erlaubt, im Bereich der Einzelmessprozesse eine Unsicherheitsabschätzung durchzuführen. Dieser VDA Band 5 ist heute in der 2. Auflage gültig.

Allerdings muss dieser VDA-Leitfaden GUM-konform sein, sowohl bei der Berechnung als auch bei der Angabe der Messunsicherheit. Um die komplexen Methoden des GUM praxistgerecht zu optimieren, wurden diverse Randbedingungen definiert und vereinfachte Betrachtungen etabliert, die für weite Bereiche der industriellen Messtechnik akzeptabel und auch in anderen Untersuchungen üblich sind. Alle Einflusskomponenten auf den Messprozess werden mit Standardunsicherheiten u bewertet und in einem Unsicherheitsbudget dargestellt, für dessen Vollständigkeit der Anwender Verantwortung trägt. Der VDA Band 5 nennt typische zu untersuchende Einflussgrößen, verlangt aber vom Anwender die Sicherstellung, dass keine weiteren relevanten Größen vergessen werden. Aber auch hier gilt die 10%-Regel, d. h. Unsicherheitskomponenten, die kleiner sind als 1/10 der Hauptkomponente, sind vernachlässigbar. Aus den Standardunsicherheiten werden nun kombinierte Standardunsicherheiten u_c und erweiterte Messunsicherheiten U berechnet, und zwar zuerst für das Messsystem UMS, dann für den Messprozess UMP. Aus den erweiterten Messunsicherheiten ergeben sich durch Vergleich mit Merkmalstoleranzen sogenannte



Ablauf nach VDA Band 5

Eignungsquotienten QMS und QMP, die die Eignung oder Fähigkeit bezogen auf einen konkreten Anwendungsfall bewerten. Im Unterschied zur AIAG MSA orientiert sich VDA Band 5 an der international standardisierten Terminologie nach ISO 3534 und ISO/IEC Guide 99 (VIM). Anhand des Ergebnisses QMS für das Messsystem kann vorab geprüft werden, ob das Messsystem für diesen Anwendungsfall überhaupt tauglich sein kann - als Grenzwert gilt nach VDA Band 5 ein $QMS \leq 15\%$. Danach erst erfolgt die logistisch aufwendigere Bewertung des gesamten Messprozesses QMP - als Grenzwert wird hier $QMP \leq 30\%$ empfohlen. Die dabei errechnete erweiterte Messunsicherheit UMP des Messprozesses ist bei Konformitätsprüfungen an den Merkmalstoleranzen nach ISO 14253 zu berücksichtigen.

Der VDA Band 5 lässt die Ermittlung der Standardunsicherheiten u mit allen GUM-konformen Methoden zu, verweist aber darauf, dass auch eine Ermittlung mit den in der Industrie üblichen Methoden der Messsystemanalyse möglich ist. Darüber hinaus erlaubt der VDA Band 5 einerseits die Reduktion bei der Ermittlung des QMS auf den aus der Bewertung bekannten MPE, andererseits erweitert er die MSA-Standards mit den u. a. aus Six Sigma bekannten Techniken der Regressionsanalyse und Versuchsplanung, sodass aus wenigen gezielten Versuchen ein Großteil der relevanten Unsicherheitskomponenten bestimmt werden kann.

● Vergleich der Vorgehensweisen nach AIAG MSA und VDA Band 5

Ein direkter Vergleich der Methoden ist auf Grund der teilweise sehr unterschiedlichen Methoden und Zielsetzungen schwer durchführbar. Ein paar wesentliche Aspekte sind hier aufgeführt:

• Grenzwerte

Der für VDA Band 5 geltende Grenzwert $QMS \leq 15\%$ ähnelt dem Grenzwert für $Cg \geq 1,33$, der nach vielen Firmenrichtlinien auch eine Wiederholbarkeit $EV \leq 15\%$ erfordert. Allerdings enthält QMS den Bias in der nach GUM korrekten Form, was der Cg_k nicht unterstützt. Darüber hinaus werden Cg und Cg_k in der AIAG MSA auch in der 4. Auflage nicht berechnet, sondern sind Ergebnisse der Firmenrichtlinien, die zudem auch noch unterschiedliche Formelsätze enthalten. Die AIAG MSA berechnet keinen Grenzwert, sondern entscheidet über einen (im Ansatz leider fehlerhaften) Signifikanztest.

Ähnliches gilt für QMP und %GRR. Zwar sind in vielen Firmenrichtlinien beide Grenzwerte auf 30% gesetzt, allerdings enthält QMP alle relevanten Einflüsse von Messsystem und Messprozess, während %GRR nur über Wiederholpräzision, Vergleichspräzision und Wechselwirkung errechnet wird. Insofern ist eine Verringerung des %GRR-Grenzwertes in der AIAG MSA auf 10% nachvollziehbar. Da sich allerdings die Grenzwerte in der AIAG MSA auf die momentan vorliegende Fertigungsprozessstreuung beziehen, während der VDA Band 5 ebenso wie die MSA Firmenrichtlinien die Merkmalstoleranz wählt, sind die Entscheidungen nur bedingt vergleichbar.

• Methoden und Verfahren

Einige der in der AIAG MSA genannten Methoden und Verfahren sind nachgewiesen nicht tauglich und/oder können leicht zu Fehlbeurteilungen führen. Dazu gehören vor allem die Test auf „signifikanten Bias“ und Linearität, sowie der Kennwert ndc im Rahmen der GRR Studie. Hier sollten die Anwender unbedingt die Firmenrichtlinien bevorzugen, in deutschsprachigen Raum ist vor allem Bosch Heft 10 zum „Fähigkeitsnachweis von Mess- und Prüfprozessen“ bekannt.

Der VDA Band 5 lässt alle GUM-konformen Methoden zu, schreibt aber keine Verfahren vor. Er empfiehlt, die in der Praxis bekannten Verfahren der MSA zu nutzen und zu erweitern, sodass alle wesentlichen Einflussgrößen mit wenigen Versuchen erfasst werden.

• **Anwendungsbereich**

Die AIAG MSA hat ihren Fokus auf die Fähigkeitsbeurteilung der Messsysteme im SPC-Umfeld. Sie distanziert sich in Chapter I Section E "Measurement System Variation" explizit von Messunsicherheitsuntersuchungen. Laut AIAG MSA beschreibt die Fähigkeit „... the expected error for defined conditions, scope and range of the measurement system“, während die Messunsicherheit definiert ist als „... an expression of the expected range of error or values associated with a measurement result“. Unabhängig von dieser Definition bietet die AIAG MSA auch keine Methoden, um aus den beobachteten Streukomponenten eine Unsicherheit zu berechnen.

Der VDA Band 5 versucht, die Bereiche Fähigkeit und Unsicherheit gemäß der Definition für Fähigkeit in VDA Band 6.1 zu verbinden. Dort ist die Fähigkeit als das Verhältnis von Messunsicherheit zur Merkmalstoleranz definiert. Die Angabe der Messunsicherheit nach VDA Band 5 verbindet die beiden obigen Definitionen und kennzeichnet die Streuung der Werte, die einer Messgröße unter definierten Bedingungen und in einem definierten Anwendungsbereich zugeordnet werden könnte. Damit sind die Ergebnisse des VDA Band 5 sowohl in den Fähigkeitsanalysen, den Messprozessfreigaben (z. B. nach ISO/TS 16949) als auch bei Konformitätsprüfungen (z. B. nach ISO 14253-1) nutzbar.

• **Verbreitung**

Die AIAG MSA ist aufgrund ihrer langjährigen Geschichte und die Forderungen der ehemaligen QS9000 weltweit verbreitet und wird auf Grund dieser Bekanntheit bezüglich GRR-Studie oft in Unterlagen außerhalb der Automobilbranche zitiert. Allerdings werden, wie schon zuvor erwähnt, in der Praxis meist nicht tatsächlich die Verfahren der MSA umgesetzt, sondern man richtet sich nach den Methoden, die in der Vielzahl der Firmenrichtlinien einen Quasi Standard bilden.

Der VDA Band 5 wird bisher vornehmlich in den Unternehmen umgesetzt, die dem VDA nahestehen oder als deren Zulieferer die Anforderungen ebenfalls unterstützen. So sind die Firmenrichtlinien des Volkswagen-Konzerns (VW, AUDI, Seat, Skoda), Mercedes Benz Cars, BMW und andere schon auf die Anforderungen des VDA Band 5 angepasst. Darüber hinaus entspricht der VDA Band 5 der 2012 erschienenen ISO 22514-7 „Capability of measurement processes“, die auf ISO-Ebene die einzige allgemeine und branchenunabhängige Norm zum Fähigkeitsnachweis von Mess- und Prüfprozessen darstellt. Insofern ist zu erwarten, dass zukünftig international und vor allem auch außerhalb der Automobilbranche verstärkt auf die ISO 22514-7 und damit auf die Methoden nach VDA Band 5 Bezug genommen wird.

ISO/IEC Guide 98 (GUM) ISO 14253	VDA Vol./Band 5 (2. Aufl.) ISO 22514-7	Firmenrichtlinien zur MSA („was man wirklich machte ...“)	AIAG MSA 4 th Edition
ISO/IEC Guide 98 (GUM) - Kombinierte Standardmessunsicherheit u_c - Freiheitsgrade f - Erweiterte Messunsicherheit U <i>„Es kann sich deshalb als notwendig erweisen, auf der Grundlage dieses Leitfadens weitere Normen zu entwickeln, die sich mit [...] den verschiedenen Anwendungen [...] befassen.“</i> <i>„Obwohl der Leitfaden den Rahmen für die Bewertung der Unsicherheit setzt, kann er kritisches Denken, intellektuelle Redlichkeit und berufliches Können nicht ersetzen.“</i>	Eignung Messsystem Q_{MS} Berücksichtigung von Verfahren 1, Linearität und anderem Vorwissen	Verfahren 1 – Cg/Cgk	Stability
		Linearität (meist als Bias über T)	Test for significant Bias (Sample)
	Eignung Mess-/Prüfprozess Q_{MP} Berücksichtigung von den Verfahren 2 und 3, Temperatur, Messobjekt (Formabweichungen), Mehrfach-Messstellen, Stabilität und anderem Vorwissen	Verfahren 2 - %GRR	Test for significant Bias (QCC)
		Verfahren 3 - %GRR	Test for Linearity (significant interception and slope)
	Stabilität	Gage R&R and/or ndc	
	(Keine Einflüsse aus Umwelt, Messobjekt, ...)	(Keine Einflüsse aus Umwelt, Messobjekt, ...)	
ISO 14253: Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen	Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen	Keine Messunsicherheit – keine Entscheidungsregeln	Keine Messunsicherheit – keine Entscheidungsregeln

Auswirkung der Messunsicherheit bei Messen und Prüfen

Literatur

- [1] A.I.A.G; Chrysler Corporation, Ford Motor Co., General Motors Corp.
Measurement Systems Analysis, Core Tools (Reference Manual),
4. Auflage. Michigan, USA, 2010.
- [2] VDA - Verband der Automobilindustrie
VDA 5 Band Prüfprozesseignung, 1. - 2. Auflage (2003, 2010)
VDA, Frankfurt, 2010.
- [3] DIN - Deutsches Institut für Normung
ISO 22514-7:2012: Statistische Verfahren im Prozess management - Fähigkeit und Leistung
- Teil 7: Fähigkeit von Messprozessen.
Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [4] DIN - Deutsches Institut für Normung
ISO/IEC Guide 98-3:2008: (Guide to the Uncertainty in Measurement).
Beuth Verlag, Berlin, 2008.
- [5] DIN - Deutsches Institut für Normung
DIN V ENV 13005:1999 (GUM): Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen.
Beuth Verlag, Berlin, 1999
- [6] DIN - Deutsches Institut für Normung
DIN EN ISO 14253-1:2011: Geometrische Produktspezifikation (GPS) Teil 1.
Beuth Verlag, Berlin, 1998, 2011.
DIN EN ISO 14253-2:2011: Geometrische Produktspezifikation (GPS) Teil 2.
Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [7] Ford Motor Co.
EU 1880 B, Richtlinie – Fähigkeit von Messsystemen und Messmitteln.
Übersetzung von Ford EU 1880 A.
Köln, 1997.
- [8] Robert Bosch GmbH
Schriftenreihe „Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe Nr. 10“. Fähigkeit von Mess- und
Prüfprozessen.
Stuttgart, 2010.



TEQ Training & Consulting GmbH
Eisleber Str. 2
69469 Weinheim
+ 49 6201 3941-15

Haben wir Ihr Interesse geweckt?
www.teq.de
Kontakt zum Autor:
stephan.conrad@teq.de