Grenzwerte bei der Prüfprozesseignung

Dr.-Ing. Edgar Dietrich, Q-DAS® GmbH & Co. KG

Je nach Norm, Leitfaden eines Verbandes oder Firmenrichtlinie gibt es bei der Prüfprozesseignung unterschiedliche Kennzahlen zur Bewertung des Prüf- bzw. Messprozesses. Diese werden mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen, um die Eignung zu bewerten. Die im Folgenden besprochenen Grenzwerte beziehen sich auf quantitative Merkmale. Weiter wird vorausgesetzt, dass die Verfahren und die Berechnung der Kennwerte bekannt sind.

Sind Grenzwerte sinnvoll?

Zunächst muss die Frage über die Sinnhaftigkeit von Grenzwerten gestellt werden. Diese ist eindeutig mit „Ja“ zu beantworten, wenn ein großer Teil von Prüfprozessen anhand dieser Grenzwerte bewertet werden kann. Denn damit erreicht man für diese Fälle eindeutige Verhältnisse. Viele Praktiker bestätigen, dass die weit verbreiteten Verfahren bei der Prüfprozesseignung bei über 50% der Anwendungsfälle anwendbar sind. Dies ist immerhin ein stattlicher Umfang. Allerdings sollte auch klar sein, dass ein großer Teil der in der Praxis relevanten Mess- und Prüfprozesse nicht eins zu eins mit diesem Verfahren und diesen Grenzwerten bewertet werden kann. Dies ist von dem zu prüfenden Merkmal abhängig, aber auch aufgrund der Komplexität des Prüfprozesses im realen Einsatz. Oftmals kann auch nicht zwischen Fertigungs- und Prüfprozess unterschieden werden. Daher sind in solchen Fällen immer die jeweiligen Gegebenheiten zu beurteilen und entsprechend dem Stand der Technik zu begründen sowie anhand technologischer und wirtschaftlicher Aspekte unter Beachtung des Risikos individuell über die Eignung zu entscheiden.

Wichtige Grenzwerte und deren Bedeutung

Sieht man bei der Prüfprozesseignung von der Vorgehensweise und Berechnung gemäß der GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) ab, so können die Bewertungsverfahren in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Firmenrichtlinien zur Beurteilung von Prüfprozessen
- MSA (Measurement Systems Analysis) des AIAG (Automotive Industry Action Group)
- VDA 5 Prüfprozesseignung bzw. ISO 22514-7 Measurement Process Capability

Für jedes Unternehmen ist zunächst immer die eigene Firmenrichtlinie relevant. Existiert diese nicht, werden für Audits übergeordnete Leitfäden von Verbänden oder Normen herangezogen. Die Firmenrichtlinien kann man in zwei Kategorien einteilen. Ein Teil der Richtlinien basiert auf der MSA. Dies hat einerseits historische Gründe, da die MSA bereits seit 1990 existiert und andererseits sind es in erster Linie Konzerne aus dem anglo-amerikanischen Bereich wie GM, Ford oder Chrysler, die die MSA präferieren. Firmen aus dem deutschen Umfeld wie VW mit den Tochtergesellschaften, Daimler oder BMW, nutzen eher die Vorgehensweise gemäß VDA 5 präferieren. Hinter dem VDA 5 Band in der zweiten Ausgabe von 2010 steht die ISO 22514-7 (2012). Dadurch wird diese Vorgehensweise wahrscheinlich in den kommenden Jahren international größere Bedeutung gewinnen. Die Zeit wird es zeigen, ob diese sich gegenüber der MSA durchsetzen kann.

Zulieferer der Automobilkonzerne stehen damit vor der Problematik, ggf. ihre Prüfprozesse sowohl nach MSA als auch VDA 5 bewerten zu müssen. Daher gelten für viele Zulieferer die Grenzwerte, die in diesen beiden Leitfäden angegeben sind.

Relevante Kennwerte und deren Grenzen

Firmenrichtlinien

Bei den Firmenrichtlinien wird zunächst die Auflösung anhand des %RE-Wertes bewertet. Dieser muss kleiner als 5% der Toleranz sein. Anschließend enthalten i.d.R. die Firmenrichtlinien die sogenannten Verfahren 1 und Verfahren 2 bzw. 3. Beim Verfahren 1 wird basierend auf Wiederholungsmessungen an einem Referenzteil der C_g- bzw. C_{gk}-Wert bestimmt. Hier gilt die Forderung, dass dieser größer als 1,33 sein muss. Beim Verfahren 2 wird der Messprozess unter realen Bedingungen beurteilt. Daher erfolgt die Untersuchung direkt am Einsatzort des Messprozesses mit den jeweiligen Bedienern an den realen Prüfobjekten. Anhand der ermittelten Daten wird der Kennwert %GRR (Gage Repeatability and Reproducibility) bestimmt. Für diesen gelten die gleichen Forderungen wie in der weit verbreiteten MSA gelistet:

- %GRR ≤ 10% geeignet
- 10 < %GRR < 30% bedingt geeignet
- 30 ≤ %GRR nicht geeignet

An dieser Stelle sei erwähnt, dass bei allen OEM Firmenrichtlinien wie GM, Ford oder Chrysler der Grenzwert für „geeignet“ nicht bei 10%, sondern bei 20% liegt. Zulieferer, die sich allerdings basierend auf ISO/TS 16949 zertifizieren lassen, werden nicht umhin kommen, die Grenzwerte, wie sie oben angegeben sind, zu erfüllen. Es sei denn, sie könnten mit ihren Kunden Einzelvereinbarungen treffen.

Diese Grenzwerte sind insofern eher unglücklich gewählt, da man zwischen „geeignet“ und „bedingt geeignet“ unterscheidet. In der Praxis stellt sich heraus, dass die meisten Prüfprozesse eher in die Kategorie „bedingt geeignet“ fallen. Dann muss anhand von technologischen und wirtschaftlichen Aspekten bzw. zusätzlichen Maßnahmen die Überschreitung der Grenze von 10% begründet werden.

Kennwerte bei der MSA

Die MSA kennt im Prinzip drei relevante Grenzwerte. Zur Bewertung, ob die Datenkategorien ausreichend klein sind, dient der sogenannte ndc-Faktor. Dieser muss größer als 5 sein. Hinweise zur Bestimmung des ndc-Wertes finden Sie in dem PIQ Artikel „Anmerkungen zur MSA 4th Edition“ (in PIQ 03/2010 auf www.q-das.de). Diese Kennzahl ist vergleichbar mit dem %RE-Wert aus den Firmenrichtlinien.

Zur Beurteilung der systematischen Messabweichung nutzt die MSA den t-Test. Hier wird der Bias überprüft. Der errechnete Kennwert muss innerhalb der Vertrauensgrenzen liegen, ansonsten ist der Bias signifikant und das Messsystem ist nicht geeignet. Bezüglich der Gerätestreuung ist in der MSA 4. Ausgabe nur die pauschale Forderung enthalten, dass diese klein sein muss. Einen konkreten Grenzwert gibt es nicht.

In Analogie zu den oben beschriebenen Firmenrichtlinien wird der %GRR-Wert bestimmt. Es gelten auch hier die oben aufgeführten Grenzwerte. In den älteren MSA Ausgaben war die Average-Range-Methode ARM zur Berechnung von %GRR im Vordergrund gestanden. Ab der 4. Ausgabe von 2010 wird die ANOVA Methode zur Berechnung von %GRR präferiert.

Kennwerte VDA 5 bzw. ISO 22514-7

Sowohl in der Norm als auch in dem VDA 5 Band wird basierend auf der Definition des VIM (Vocabulary of International Metrology) zwischen Messsystem und den weiteren Komponenten, die zu dem Messprozess führen, unterschieden (s. Bild 1). Daher gibt es an dieser Stelle auch zwei Grenzwerte. Der eine Grenzwert bezieht sich auf das Messsystem und der andere auf den Messprozess. Entsprechend werden auch zwei Eignungskennwerte bestimmt und zwar Q_{MS} für das Messsystem und Q_{MP} für den Messprozess.

Es wird empfohlen:

$$Q_{MS} \leq Q_{MS_max} = 15\%$$
$$Q_{MP} \leq Q_{MP_max} = 30\%$$

In Analogie zu den Firmenrichtlinien wird vor der Beurteilung des Messsystems ebenfalls die Auflösung bewertet. Dabei muss %RE kleiner als 5% sein.

Referenzgröße Toleranz

Für die Berechnung der beschriebenen Kennwerte ist die Bezugsgröße von großer Relevanz, da diese das Ergebnis wesentlich beeinflußt.

Während die MSA als Bezugsgröße zur Bestimmung des %GRR Wertes mehrere Referenzgrößen kennt, ist es bei dem VDA 5 Band bzw. der ISO 22514-7 sowie bei allen Firmenrichtlinien immer die Toleranz, die als Referenzgröße herangezogen wird. Dies ist sinnvoll, da diese in den Spezifikationen und Vereinbarungen zwischen Kunden und Lieferant als die entscheidende Größe gültig ist.

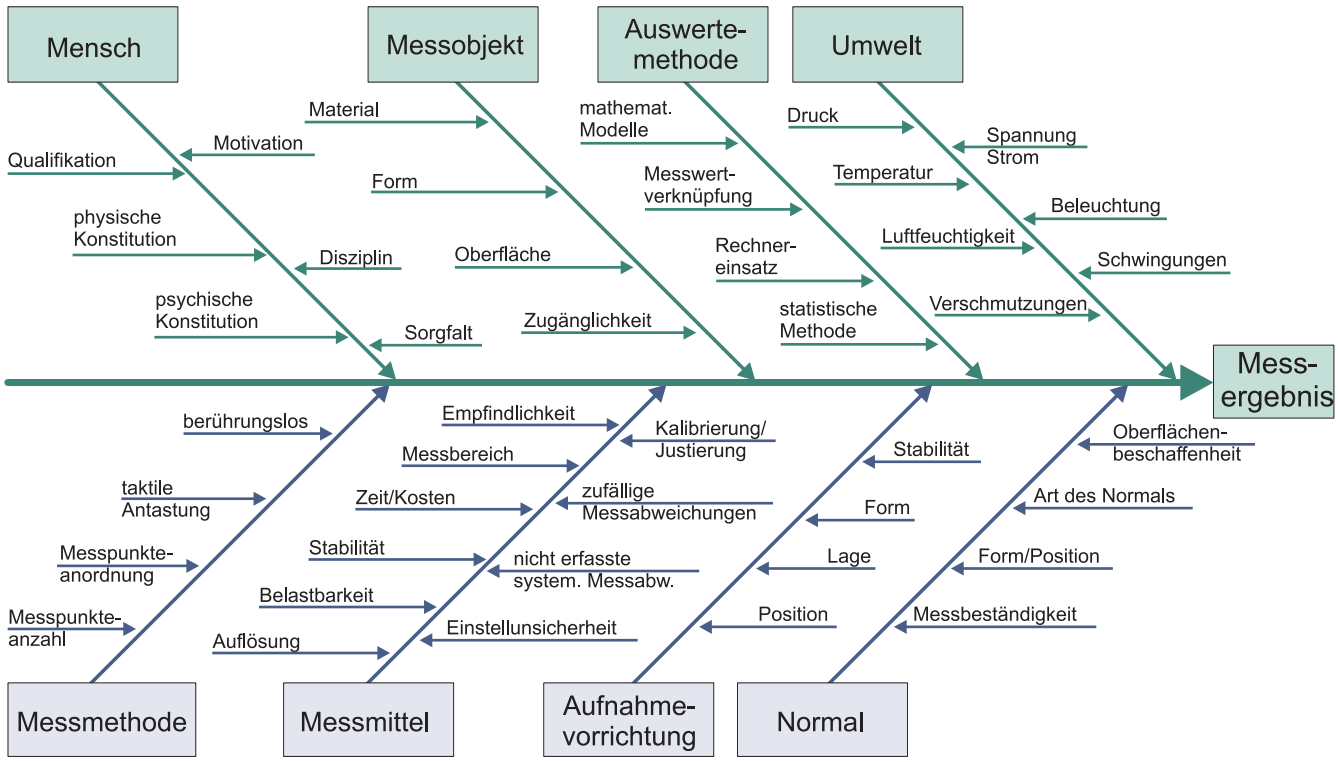

Bild 1: Wichtige Einflüsse auf die Unsicherheit von Messergebnissen

Daher liegt es nahe, die Toleranz auch bei der Eignung der Prüfprozesse als Bezugsgröße heranzuziehen.

Wie kommen Grenzwerte zustande?

Über das Zustandekommen des ein oder anderen Grenzwertes kann heute nur spekuliert werden, denn dies wissen im Prinzip nur die Beteiligten, die diese Vorgaben größtenteils vor über 20 Jahren festgelegt haben.

Anmerkungen im Einzelnen:

Auflösung

Als äußerst sinnvoll hat sich die Bewertung der Auflösung basierend auf %RE herausgestellt. Diese Bewertung ist einerseits sehr einfach und andererseits äußerst hilfreich. Ist diese Forderung nicht eingehalten, kann es vorkommen, dass bei Wiederholungsmessungen an einem Referenzteil quasi das Messgerät „klassiert“ und dadurch immer der gleiche Messwert angezeigt wird. Konsequenterweise wäre die Streuung null und das Messgerät mehr als geeignet, was aber aufgrund der zu groben Auflösung in Abhängigkeit der Toleranz eine falsche Entscheidung sein könnte.

C_g, C_{gk}-Wert

Der Grenzwert für den C_g- bzw. C_{gk}-Wert, wie er in Firmenrichtlinien bei dem Verfahren 1 zur Bestimmung der Gerätestreuung bzw. der systematischen Abweichung verwendet wird, kann man in Anlehnung an die Mitte der neunziger Jahre eingeführte Vorgehensweise SPC (Statistical Process Control) sehen. Damals wurden die sogenannten Fähigkeitskennwerte C_m, C_{mk}, C_p, C_{pk} und später P_p, P_{pk} eingeführt. Bei diesen Kennwerten vergleicht man die Streuung bzw. den Versatz eines Prozesses mit den Spezifikationsgrenzen.

In Analogie ist der C_g- und C_{gk}-Wert zu sehen, allerdings wird logischerweise der zulässige Bereich eingeschränkt, da sonst die gesamte Streuung innerhalb der Toleranz dem Messgerät gehören würde. Diese Kennwerte wurden im deutschsprachigen und europäischen Raum erstmals in der Bosch Richtlinie Heft 10 und in der Ford Richtlinie EU 1880 erwähnt. Während in der Bosch Richtlinie der Grenzwert für C_g bzw. C_{gk} mit 1,33 angegeben und die Toleranz als Bezugsgröße auf 20% eingeschränkt wurde, hat man bei Ford einen C_g- und C_{gk}-Wert von 1,0 gefordert, allerdings mit einer Einschränkung der Toleranz auf 15%. Anscheinend wollte man bei Bosch den C_g- und C_{gk}-Wert mit der Forderung wie bei der Maschinenfähigkeit von 1,33 vergleichen, während man bei Ford den C_g-, C_{gk}-Wert mit dem C_p-, C_{pk}-Wert vergleichen wollte. Dieser war zum damaligen Zeitpunkt, nicht wie heute üblich, 1,33 sondern nur 1,0. Es sei noch einmal erwähnt, dass dies nur die Interpretation bzw. Vermutung des Autors darstellt.

Hinweis zu C_g, C_{gk}

Da das oben erwähnte Verfahren 1 zur Bestimmung von C_g und C_{gk} sehr einfach zu handhaben ist, hat sich diese Methode außerhalb der MSA in vielen internationalen Firmenrichtlinien wie denen von GM, Fiat, Ford usw. niedergeschlagen.

%GRR-Wert

Die Festlegung der Grenzwerte für %GRR war bereits in der ersten Ausgabe der MSA enthalten. Über die Sinnhaftigkeit insbesondere die Unterscheidung „geeignet“ und „bedingt geeignet“ lässt sich vortrefflich diskutieren. Allerdings sind die verwendeten Verfahren zur Bestimmung von %GRR seit über zwei Jahrzehnten im Einsatz. Damit sind auch die Grenzwerte quasi an den Himmel geschrieben und scheinen auch auf absehbare Zeit nicht veränderbar zu sein.

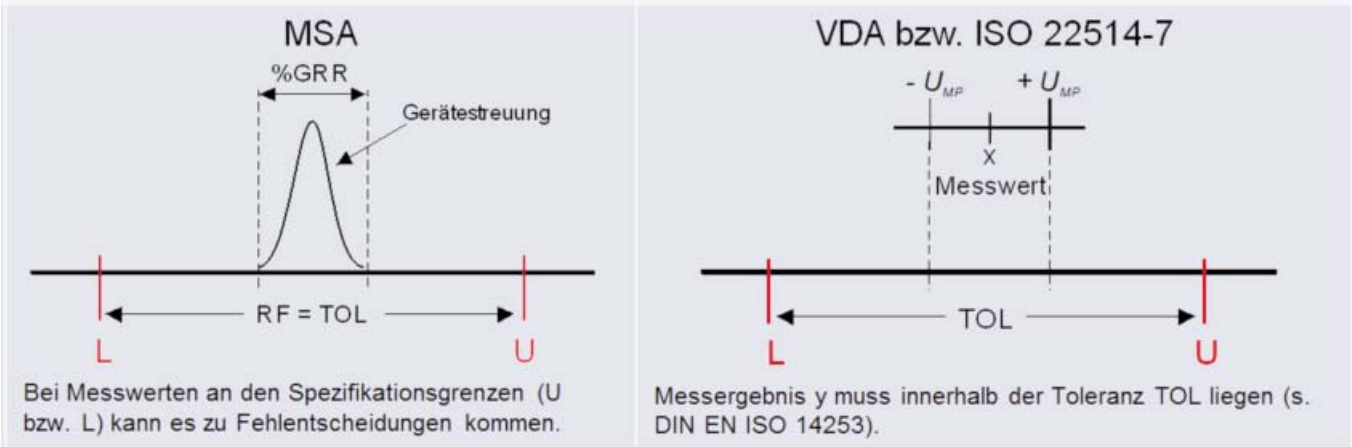

Bild 2: Vergleich %GRR mit U_{MP}

Während man bei der Beurteilung basierend auf %GRR (MSA) bei Einhaltung der Grenzwerte davon ausgeht, dass der Messprozess in Ordnung ist, kann bei der Bestimmung der erweiterten Messunsicherheit, wie in der DIN ISO 14253 gefordert, diese an den Spezifikationsgrenzen berücksichtigt werden.

Q_{MS} und Q_{MP}

Die Begründung, warum beim VDA 5 Band und der ISO 22514-7 der Q_{MS_max} auf 15% und Q_{MP_max} auf 30% festgelegt wurde, ist relativ einfach nachvollziehbar. Für den Messprozess wollte man die Obergrenze von 30%, wie sie in vielen Firmenrichtlinien und in der MSA vorgegeben ist, übernehmen. Bereits in der ersten Ausgabe des VDA 5 Bands von 2003 hat man die empirische Annahme getroffen, dass die kombinierte Standardunsicherheit des Messsystems ungefähr 50% der kombinierten Standardunsicherheit des gesamten Messprozesses beträgt. Daher ist es mehr als naheliegend, als Grenzwert für den Q_{MS}-Wert bei der Beurteilung des Messsystems auf die Hälfte von Q_{MP_max} und damit auf 15% zu setzen.

Bedeutung der Grenzwerte im internationalen Vergleich

Insbesondere in der globalen Wirtschaftswelt ist es sowohl im Interesse von Herstellern von Messgeräten bzw. Messsystemen als auch im Warenaustausch zwischen Kunde und Lieferant äußerst hilfreich, wenn einheitliche und verbindliche Verfahren und Grenzwerte festgelegt sind. Nur so kann sich ein Hersteller von Messsystemen beim Verkauf und der späteren Abnahme sicher sein, dass die mit ihm vereinbarten Spezifikationen auch eingehalten werden. Gleiches gilt für Lieferanten, die in den Lieferverträgen die Einhaltung von Produktmerkmalen zusagen. Diese Forderung kann nur sinnvoll überprüft und bewertet werden, wenn die Eignung des Messprozesses einheitlich nachgewiesen wurden und die erweiterte Messunsicherheit sowohl beim Kunden als auch beim Lieferanten als korrekt und verbindlich angesehen werden kann.

Zusammenfassung

Es ist wichtig, dass es Verfahren für die Eignungsnachweise von Messprozessen gibt, mit denen sogenannte Eignungskennwerte bestimmt werden. Die Entscheidung, ob ein Messprozess „geeignet“ oder „nicht geeignet“ ist, erfolgt anhand des Vergleichs mit vorgegebenen Grenzwerten. Je besser und je häufiger die Verfahren anwendbar sind, umso einfacher kann die Eignung in der Praxis nachgewiesen werden.

Allerdings muss man sich bewusst sein, dass nicht alles über einen Kamm geschert werden kann. Daher ist im Einzelfall immer zu entscheiden, ob die hier besprochenen Standards anwendbar sind oder nicht.

Q-DAS® bietet für die Bewertung dieser Sonderfälle eine Plattform an (s. Seite 10).

Reduktion der Unsicherheit durch geeignete Messprozesse

Dr.-Ing. Edgar Dietrich, Q-DAS® GmbH & Co. KG

In der industriellen Produktion ist die Beurteilung und Bewertung der Qualität von Fertigungs- bzw. Produktionseinrichtungen sowie der entstehenden Teile, Komponenten und Produkte durch die verwendeten Prüfprozesse und die statistischen Auswertungen mit diversen Unsicherheiten behaftet.

Qualitätsbewertung

Je nach Fertigungs- bzw. Produktionsprozess werden bei bzw. nach den verschiedenen Bearbeitungsschritten ausgewählte Qualitätsmerkmale geprüft. Diese Prüfung kann 100% bzw. stichprobenbasierend erfolgen. Die Beurteilung der Fertigung- bzw. Produktionsqualität wird grafisch anhand unterschiedlicher Visualisierungen oder numerisch anhand sogenannter Fähigkeitskennwerte vorgenommen. Dazu werden die ermittelten Messwerte statistisch ausgewertet, die erforderlichen Kennwerte ermittelt, diese numerisch und je nach Anwendungsfall für den zuständigen Personenkreis grafisch aufbereitet. Nur wenn es gelingt, die Ergebnisse sowohl aufgabenbezogen als auch anwendergerecht zeitnah zu kommunizieren bzw. leicht zugänglich zu machen, werden diese zur Beurteilung und Bewertung von Prozessen und Sachverhalten genutzt und tragen zur Qualitätsbewertung bei.

Unsicherheit

Die Ergebnisse bzw. Sachverhalte enthalten u.a. Unsicherheiten in Folge von:

- Mess- bzw. Prüfprozessen
- Verwenden statischer Verfahren
- fehlerhafter Datenerfassung, - übertragung, - haltung
- fehlerhafter Kommunikation der Ergebnisse

Die letzten beiden Fehlerquellen sind durch organisatorische Maßnahmen und IT-Unterstützung in den Griff zu bekommen. Als Maßnahme wird man dazu an relevanten Stellen die Daten auf Plausibilität überwachen. Durch den Einsatz von Q-DAS® Produkten gelingt es, Prozesse mittels validierter statistischer Verfahren unter Angabe der Vertrauensbereiche für die einzelnen Kennwerte zu beschreiben. Damit wird die Unsicherheit infolge der statistischen Verfahren abschätzbar. Was bleibt, sind die sich ergebenden Unsicherheiten aufgrund der Prüfprozesse, die im Folgenden näher betrachtet werden.