

Prüfmittelfähigkeit ist unzureichend

Eine Diskussion von Verfahren zur Fähigkeitsuntersuchung

Michael Hernla, Dortmund

*Manuskriptfassung; in überarbeiteter Form veröffentlicht in
Qualität und Zuverlässigkeit, München, 43 (1998) 2, S. 194-196*

Ein Vergleich der Grenzwerte verschiedener Verfahren zur Ermittlung der Prüfmittelfähigkeit zeigt, dass sich die Forderungen unterscheiden. Die Aussagekraft hängt wesentlich von den Messbedingungen ab. Alle üblichen Verfahren erfassen nur einen Teil der Messabweichungen und beschreiben damit die Messgenauigkeit nur unvollständig. Eine brauchbare Alternative ist die Angabe der Messunsicherheit.

Measurement systems capability is not sufficient. A discourse of different procedures of capability-measurements. Comparing the limiting values of the procedures in order to estimating the capability of measuring systems, the different required measurement systems capabilities are shown. The use of capability coefficients depends on the conditions in gathering measurement values. All procedures used today contain only a certain part of the errors of measurement, describing the accuracy of measurement incompletely. Only the estimation and expression of measuring uncertainty is a real alternative.

Einleitung

Besonders im Bereich der Automobilindustrie und ihrer Zulieferer werden die Forderungen nach statistischen Analysen von Messeinrichtungen durch die QS 9000 immer stärker. Zunächst werden die verschiedenen Verfahren verglichen und bewertet und die Messbedingungen analysiert.

Prüfmittelfähigkeit im Vergleich

In der Tabelle 1 sind Kenngrößen der Prüfmittelfähigkeit aufgeführt. Sie können entweder mit der Standardabweichung s_N aus Messungen an einem Normal oder mit der Standardabweichung s_W aus der Messung von Werkstücken nach der Mittelwert- und Spannweitenmethode [2, 4] bzw. der Varianzanalyse ermittelt werden [1, 2, 3, 5]. Bei einigen dieser Verfahren ist nicht festgelegt, ob sich die Fähigkeiten auf die Toleranz, Prozessstreuung oder Gesamtstreuung beziehen. Je nach Auswahl einer dieser drei Größen können sich völlig entgegengesetzte Bewertungen des Prüfmittels ergeben [3]. Alle Werte werden deshalb auf das Verhältnis der Toleranz zur zweifachen Standardabweichung umgerechnet. Je größer dieser Wert, desto höher ist die Forderung.

Die Forderungen der einzelnen Richtlinien sind unterschiedlich und für die Messung am Normal meist schärfer. Hier erfasst die Standardabweichung zwar den Einfluss des Prüfmittels, aber nicht den Einfluss der Werkstücke (Oberflächen mit Formabweichungen) sowie mittel- und langfristig geänderte Abweichungen (z.B. den Temperatureinfluss). Die Fähigkeitsindizes sind deshalb nicht geeignet, ein Prüfmittel unter realen Einsatzbedingungen zu beurteilen. Diese einzelne Forderung kann sich als völlig überzogen herausstellen, wenn die anderen Einflüsse vernachlässigbar klein sind.

Die bei der Mittelwert- und Spannweitenmethode bzw. der Varianzanalyse durch Messung an Werkstücken bestimmten Fähigkeitsindizes entsprechen eher den realen Verhältnissen. Sie erfassen allerdings nur die Einflussgrößen, die sich bei den Messungen tatsächlich geändert haben. So wird für den Einfluss der verschiedenen Prüfer ein Momentanzustand beschrieben, nicht aber die mittel- und langfristigen Veränderungen der Prüfmittel und der Werkstücke. Ebenso wenig werden die temperaturbedingten Längenabweichungen und der Einfluss unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten der Werkstücke aus verschiedenen Materialchargen erfasst. Die genauesten Rechenverfahren sind nutzlos, wenn die entsprechenden Einflüsse gar nicht in den Messwerten enthalten sind.

Systematische Messabweichungen lassen sich korrigieren. Deshalb sagen entsprechende Fähigkeitskennwerte wie c_{gk} wenig über die grundsätzliche Eignung des Prüfmittels, sondern mehr über die zweckmäßige Festlegung der Prüfintervalle bei seinem Einsatz aus [2].

Tabelle 1: Vergleich von Kenngrößen der Prüfmittelfähigkeit; Standardabweichungen am Normal s_N und am Werkstück s_W ; Werte in Klammern: bedingt geeignet

	BMW	Bosch/Mercedes	Ford	MSA
Forderung	$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_N} \geq 1,33$	$c_g = \frac{0,133 \cdot T}{2 \cdot s_N} \geq 1,33$	$c_g = \frac{0,15 \cdot T}{6 \cdot s_N} \geq 1,00$	---
$\frac{T}{2 \cdot s_N} \geq$	20	10	20	---
Forderung	$c_g = \frac{0,4 \cdot T}{6 \cdot s_W} \geq 1,33$	$\frac{100 \cdot WV}{T} \leq 20$ mit $WV = 2 \cdot 1,96 \cdot s_W$	$\frac{WV}{T} \leq 0,2$ mit $WV = 6 \cdot s_W$	$\frac{R \& R}{T} \leq 0,1$ (0,3) mit $R \& R = 5,15 \cdot s_W$
$\frac{T}{2 \cdot s_W} \geq$	10	9,8	15	25,7 (8,6)

Einfluss der Formabweichungen

Bei Werkstücken mit Formabweichungen und Messung an verschiedenen Stellen der Oberfläche streuen die Ergebnisse stärker als bei gleichen Messstellen. Das Kennzeichnen der Messstellen, um immer an denselben Stellen zu messen und so den Einfluss der Formabweichungen auszuschalten [3], liefert zwar "schöne" Ergebnisse. Mit der Realität haben diese allerdings nichts zu tun, da praktisch niemand schon vor der Messung sagen kann, welche die "richtigen" Messstellen an den anderen gefertigten Teilen sind. Im Gegenteil sind zur Erfassung dieses Einflusses jedesmal andere Stellen zu messen.

Bei der Mittelwert- und Spannweitenmethode bzw. der Varianzanalyse werden mehrere Werkstücke jeweils mehrmals gemessen. Die Teile sind so auszuwählen, dass sie möglichst die ganze Prozessstreuung abdecken. Der Einfluss der Formabweichungen wird damit von den wesentlich größeren Abweichungen der Istwerte überlagert und lässt sich grundsätzlich nicht erfassen. Auch hier können aufwendige Rechnungen den mangelnden Informationsgehalt der Messwerte nicht ersetzen.

Die Alternative: Messunsicherheit

Die Messunsicherheit ist ein dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnte [6]. Das kann eine Standardabweichung oder eine Vertrauensgrenze sein. Meist wird die Vertrauensgrenze für das Vertrauensniveau 95% angegeben, die näherungsweise durch Multiplikation der Standardabweichung s aus allen Einflussgrößen mit dem Erweiterungsfaktor 2 berechnet wird [7]:

$$U = 2 s \tag{1}$$

Die Messunsicherheit ist die einzige Kenngröße zur Beschreibung der Messgenauigkeit, die auch die Abschätzung der Einflüsse gestattet, die aus verschiedenen Gründen durch Messungen nicht erfasst werden. Die Norm DIN EN ISO 9001 fordert deshalb im Punkt 4.11.1 ganz eindeutig: "Prüfmittel müssen in einer Weise benutzt werden, die sicherstellt, dass ihre Messunsicherheit bekannt und mit der betreffenden Forderung vereinbar ist" [8].

Das Vorgehen zur Ermittlung der Messunsicherheit ist in [7] beschrieben, in [9] werden einige Beispiele erläutert. In der Regel muss der Einfluss des Werkstücks durch Messungen an verschiedenen Stellen desselben Teiles bestimmt werden, während sich die anderen Anteile der Unsicherheit meist abschätzen lassen. Damit erübrigen sich die aufwendigen Messreihen für die Varianzanalyse. Bei Längenmessungen ist immer auch der Temperatureinfluss zu berücksichtigen, der selbst bei Einhal-

tung der Bezugstemperatur 20 °C mindestens einen Unsicherheitsanteil aus den Temperaturmessungen liefert [10].

Bei der Zusammenfassung der einzelnen Messunsicherheitsanteile durch quadratische Addition wirken sich nur die größeren Anteile aus. Anteile, die kleiner als etwa ein Viertel der Gesamtunsicherheit sind, können in der Regel vernachlässigt werden.

Ist die Messunsicherheit aus Messungen bzw. Abschätzungen bekannt, ist zu beurteilen, ob sie "mit der betreffenden Forderung vereinbar ist". Dazu wird sie mit ihrem Grenzwert verglichen, der sowohl unter Beachtung der Funktionsanforderungen (ausgedrückt durch die Toleranz) als auch der Forderungen an den Fertigungsprozess (ausgedrückt durch die Prozessfähigkeit) festgelegt werden muss.

Grenzwerte objektiv festlegen

Die oben erwähnten Richtlinien legen sehr unterschiedliche Grenzwerte der Fähigkeitskenngrößen fest (Tabelle 1), weil der objektive Zusammenhang mit der Fertigung außer acht gelassen wird. Bei allen Messungen vergrößert sich die Prozesseigenstreuung σ_1 durch Überlagerung mit der Streuung der Messeinrichtung σ_2 zur Prozessgesamtstreuung σ [9]:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (2)$$

Der Grenzwert der Messunsicherheit ergibt sich aus der als zulässig angesehenen Vergrößerung und der angestrebten Prozessfähigkeit c_p :

$$\frac{U}{T} \leq \frac{1}{3c_p} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_1}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

Wird eine Vergrößerung um 10% als vertretbar angesehen ($\sigma_1/\sigma=1/1,1$), so ist die Standardabweichung der Messeinrichtung rund $0,5\sigma$. Soll $c_p \geq 1,33$ werden, beträgt das Verhältnis der Toleranz zur Unsicherheit $T/U \geq 9,6$. Dieser Wert stimmt mit den ersten beiden Forderungen in Tabelle 1 unten überein. Da die Messunsicherheit aber alle Einflussgrößen umfasst, ist die entsprechende Standardabweichung in (1) in der Regel größer als die bei den Fähigkeitsuntersuchungen allein aus Messungen ermittelte, und die Werte sind nicht direkt vergleichbar.

Für gleiche Verhältnisse $T/2s_w$ bzw. T/U stellt die Messunsicherheit dann eine etwa gleichwertige Forderung dar, wenn es sich um Werkstücke mit kleinen Abmessungen und sehr kleinen Formabweichungen handelt. Hier sind die entsprechenden Einflüsse vernachlässigbar, und es wirken sich nur noch die langfristigen Änderungen der Messeinrichtungen als zusätzlicher Unsicherheitsanteil aus. Bei größeren Werkstücken mit Formabweichungen vergrößert sich die Messunsicherheit. Das Verhältnis der Toleranz zur Unsicherheit kann wesentlich kleiner als 10 werden, je nach Größe der anderen Unsicherheitsanteile sogar $T/U=2...5$. Dasselbe Verhältnis von Toleranz und Unsicherheit stellt also gegenüber den üblichen Kennwerten der Prüfmittelfähigkeit immer eine schärfere Forderung dar.

In den letzten beiden Spalten von Tabelle 1 werden deutlich höhere Forderungen an die Fähigkeit der Messeinrichtung gestellt. Das ist jedoch nicht sinnvoll, da die Ausgangsdaten selbst unsicher sind. Die Vergrößerung der Prozessgesamtstreuung ist dazu mit den Vertrauensbereichen ihrer aus Stichproben geschätzten Standardabweichung zu vergleichen. Die oben zugelassenen 10% liegen selbst für $n=100$ in der Größenordnung der Vertrauensgrenzen für das Vertrauensniveau 95%, siehe Tabelle 2. Bei 99% und erst recht bei den meist angestrebten 99,73% machen sie nur einen kleinen Teil davon aus. In Anbetracht der dabei entstehenden und oft beklagten Mehrkosten ist der Nutzen verschwindend gering. Kleinere Messunsicherheiten werden erst bei höheren Forderungen an die Prozessfähigkeit nötig, z.B. $c_p \geq 1,67$. Hier ist unter gleichen Voraussetzungen wie oben $T/U \geq 12$.

Genausowenig ist eine einseitige Erhöhung der Forderungen an die Messeinrichtung sinnvoll, wenn nicht gleichzeitig die Prozessfähigkeit verbessert wird. Bleibt die Prozessgesamtstreuung σ nämlich gleich, so ist aus Gleichung (2) sofort ersichtlich, dass bei Verringerung der Streuung der Messeinrichtung σ_2 der Anteil der (nicht direkt messbaren) Prozesseigenstreuung σ_1 größer wird und die Fertigung sich damit im Endeffekt verschlechtert.

Tabelle 2: Vertrauensbereiche der aus Stichproben geschätzten Standardabweichung für die Prozessgesamstreuung bei verschiedenen Vertrauensniveaus der χ^2 -Verteilung, bezogen auf diese Standardabweichung

Stichproben- umfang n	Vertrauensniveau $P=1-\alpha$		
	95%	99%	99,8%
20	0,76...1,46	0,70...1,67	0,66...1,87
50	0,83...1,25	0,79...1,34	0,76...1,43
100	0,88...1,16	0,84...1,22	0,82...1,62

Literatur

- [1] A.I.A.G. - Chrysler Corp., Ford Motor Co., General Motors Corp.: Measurement System Analysis (MSA), Michigan, 1995
- [2] Dietrich, E.; Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation. Hanser Verlag München 1996
- [3] Dietrich, E.; Schulze, A.: Die Beurteilung von Messsystemen. Qualität und Zuverlässigkeit, München, 42 (1997) 2, S. 215-219
- [4] Anghel, A.: Messgeräteeignung im Prozess. Qualität und Zuverlässigkeit, München, 42 (1997) 4, S. 457-459
- [5] Einberger, R.: Varianzanalyse für Messsysteme. Q-DAS: Partner Info Qualität PIQ 2/97, S. 8-10
- [6] VIM Internationales Wörterbuch der Metrologie. Beuth Verlag 1994
- [7] Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. Beuth Verlag 1995
- [8] DIN EN ISO 9001 (8/1994): QM-Systeme; Modell zur Darlegung des QM-Systems in Design/Entwicklung, Produktion, Montage und Kundendienst
- [9] Hernla, M.: Messunsicherheit und Fähigkeit. Qualität und Zuverlässigkeit, München, 41 (1996) 10, S. 1156-1162
- [10] Hernla, M.; Neumann, H. J.: Der Einfluss der Temperatur bei Längenmessungen. Qualität und Zuverlässigkeit, München 42 (1997) 4, S. 464-468