

Foto: KSM Castings, Radevormwald



SERIENTEILE MIT OPTIMALEN MESSSTRATEGIEN EFFIZIENT MESSEN

Koordinatenmessungen – so genau wie nötig

Die Messunsicherheit kann heute bereits vor der Messung anhand von Unsicherheitsbudgets bestimmt werden. Das Vorgehen wird am Beispiel eines Automobil-Zulieferteils demonstriert. Damit lässt sich von vornherein die optimale Messstrategie hinsichtlich der Temperaturmessung, der rechnerischen Korrektur der Abweichung von der Bezugstemperatur 20 °C und der Anzahl der Messpunkte festlegen.

Michael Hernla, Dortmund,
und Frank Köhler, Gelsenkirchen

Die Kenntnis der Messunsicherheit (siehe Kasten Seite 52) ist Voraussetzung für die Bestätigung der Konformität von Werkstücken und Messgeräten mit Spezifikationen nach DIN EN ISO 14253-1 (Entscheidungsregeln), für die Bewertung der Eignung eines Prüfprozesses für eine gegebene Messaufgabe und die wirtschaftliche Herstellung von Serienprodukten.

Von besonderer Bedeutung sind dabei die Entscheidungsregeln. Danach muss der Hersteller die spezifizierten Toleranzgrenzen um seine Messunsicherheit eingengen, weil er nur Produkte ausliefern darf, die zweifelsfrei innerhalb der Spezi-

fikation liegen. Der Abnehmer darf nur das reklamieren, was zweifelsfrei außerhalb der Spezifikation liegt, das heißt, er muss dieselben Toleranzgrenzen um seine Messunsicherheit erweitern. Dabei wird aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt, den Grundsatz „Nicht so genau wie möglich, sondern nur so genau wie nötig“ einzuhalten.

Messunsicherheit von Koordinatenmessungen

Die aufgabenspezifische Messunsicherheit von Koordinatenmessungen kann heute nach drei in VDI-Richtlinien be-

schriebenen Methoden ermittelt werden:

- VDI/VDE 2617 Blatt 7: Numerische Simulation,
- VDI/VDE 2617 Blatt 8 Anhang C: Experimentelle Ermittlung nach DIN EN ISO 15530-3,
- VDI/VDE 2617 Blatt 11: Messunsicherheitsbilanz.

Die **Simulationsmethode** setzt detaillierte Kenntnisse über das Messgerät, die Umgebungsbedingungen und das Werkstück sowie den Einsatz der Software „Virtuelles KMG“ (VCMM) voraus. Diese wird derzeit von zwei Herstellern von Koordinatenmessgeräten (KMG) angeboten und von fünf akkreditierten Kalibrierla- ▶

Definition

Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM [1]) – Messunsicherheit: „nicht-negativer Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße auf der Grundlage der benutzten Information beigeordnet ist“. In der Regel wird die erweiterte Messunsicherheit U für das Vertrauensniveau 95 % angegeben, indem die Standardunsicherheit der Messgröße mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ multipliziert wird.

Literatur

- 1 Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM). Beuth Verlag, Berlin 2010
- 2 Hernla, M.; Franke, M.; Wendt, K.: Aufgabenspezifische Messunsicherheit von Koordinatenmessungen. tm Technisches Messen, Oldenbourg Verlag, München, 77 (2010) 11, S. 607-615
- 3 Hernla, M.: Messunsicherheit bei Koordinatenmessungen. Abschätzung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit mit Hilfe von Berechnungstabellen. expert verlag, Renningen 2007

Autoren

Dr.-Ing. Michael Hernla, geb. 1955, ist freiberuflicher Ingenieur und bietet Beratungen und Schulungen zu technischen Zeichnungen und zur Ermittlung von Messunsicherheiten an.

Prof. Dr.-Ing. Frank Köhler, geb. 1955, vertritt an der FH Gelsenkirchen im Fachbereich Maschinenbau die Lehrgebiete Qualitätsmanagement und Arbeitsplanung/-steuerung.

Kontakt

Michael Hernla
T 0231 136010
michael.hernla@t-online.de

www.qm-infocenter.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **QZ110313**

bors sowie rund einem Dutzend weiterer Unternehmen eingesetzt. Neben der Software selbst sind wiederholte Messungen mit Kugelplatten zur Bestimmung der Geometrieabweichungen des KMG und besondere Verfahren beim Einmessen der Taster erforderlich [2]. Wegen dieses Aufwands ist die Methode eher nicht für die breite industrielle Anwendung geeignet.

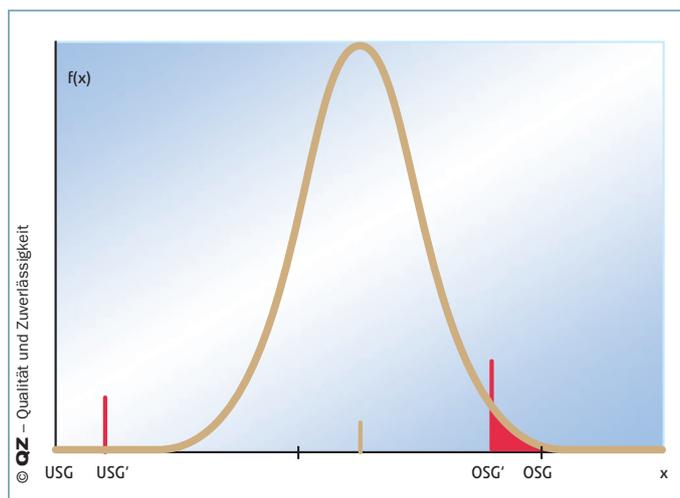


Bild 1: Ausschussanteil der Normalverteilung (1,39 %) an den eingegengten Spezifikationsgrenzen (USG' = untere, OSG' = obere) mit $c_p = 1,33$, $c_{pk} = 1,00$ und $U = T/10$

Bei der **experimentellen Methode** werden ein kalibriertes und drei weitere baugleiche Werkstücke je zwanzigmal unter allen praktisch möglichen Messbedingungen gemessen. Aus den Messwerten werden die mittlere Abweichung vom Kalibrierwert sowie die Streuung berechnet. Weitere Unsicherheitsbeiträge sind abzuschätzen. Hier fallen vor allem die Kosten für die Kalibrierung des Werkstücks und die 80 Wiederholungsmessungen an.

Als **Messunsicherheitsbilanz** beziehungsweise Messunsicherheitsbudget wird die tabellarische Darstellung und Aufrechnung der einzelnen Einflussgrößen bezeichnet. Für häufige Prüfmerkmale liegen in VDI/VDE 2617 Blatt 11 und in [3] Berechnungstabellen vor. Hier sind lediglich noch die aktuellen Daten der Messung einzusetzen, zum Beispiel der vom KMG-Hersteller spezifizierter Grenzwert der Längenmessabweichung des KMG nach DIN EN ISO 10360-1 und die Anzahl der Messpunkte. Da die tatsächlichen Abweichungen des KMG meist kleiner als die Grenzwerte sind, sind die Messunsicherheiten in der Regel größer als bei den anderen Verfahren. Das gilt besonders, wenn die Werkstückoberfläche Formabweichungen aufweist [2].

Da die meisten Eingangsdaten bereits vor der Messung bekannt sind, lässt sich mit der Messunsicherheitsbilanz die zu erwartende Messunsicherheit abschätzen und die Messstrategie optimieren.

Optimierung der Messstrategie

Bei einem Automobilzulieferer werden im Druckgießverfahren Werkstücke aus Aluminium (siehe Titelbild) in verschiedenen

Varianten hergestellt, mechanisch bearbeitet und stichprobenartig geprüft. Die Messprogramme sind im Detail mit dem Kunden abgestimmt. Die Teile werden in einem klimatisierten Messraum gemessen, der im Bereich $20^\circ\text{C} \pm 2\text{K}$ temperaturstabil ist. Sie werden vor der Messung circa zehn Minuten temperiert, was erfahrungsgemäß ausreicht.

Für die Untersuchung wurden fünf repräsentative Prüfmerkmale mit den größten Nennmaßen beziehungsweise den kleinsten Toleranzen ausgewählt und die zugehörigen Messunsicherheiten über Messunsicherheitsbilanzen bestimmt (Tabelle 1, Spalte 3).

Bei drei Merkmalen ist die Messunsicherheit U größer als ihr Grenzwert, der ein Zehntel der Toleranz T beträgt (rot markiert). Bei den Durchmessern kommt der größte Unsicherheitsbeitrag von der Grenzabweichung (2 K) der Werkstücktemperatur. Es reicht also nicht aus, die Teile zu temperieren. Die aktuelle Temperatur der Aluminiumteile muss mit einem Kontakthermometer gemessen werden, um die Durchmesser auf 20°C zu korrigieren. Dann ist die Messunsicherheit des Durchmessers $35,5$ mit $2,1\ \mu\text{m}$ klein genug (Tabelle 1, Spalte 4).

Beim Durchmesser $50,1$ ist die Messunsicherheit mit $2,0\ \mu\text{m}$ immer noch zu groß. Die größten Unsicherheitsbeiträge kommen jetzt vom Einmessen des Tasters und vom Messen des Kreises mit je acht Punkten. Werden stattdessen jeweils 16 Punkte gemessen, verringert sich die Unsicherheit weiter auf $1,6\ \mu\text{m}$. Da mit demselben Taster auch der erste Durchmesser gemessen wird, reduziert sich dessen Unsicherheit auf $1,9\ \mu\text{m}$ (Spalte 5). Beim Rundlauf verringert sich die Mess-

	-1	-2	-3	-4	-5	-6
Prüfmerkmal	Toleranz	Ausgangszustand	mit Temperaturkorrektur	Kreise mit je 16 Messpunkten	ohne Formabweichungen	
	T (µm)	U (µm)	U (µm)	U (µm)	U (µm)	
Durchmesser 35,5	25	2,8	2,1	1,9	1,5	
Durchmesser 50,1	16	3,4	2,0	1,6	1,5	
Rundlauf ø 50,1	30	3,8	3,8	3,0	2,6	
Abstand 36,4	200	2,3	1,2	1,2	1,1	
Abstand 43,2	100	4,5	3,9	3,9	3,7	

Tabelle 1. Prüfmerkmale mit Toleranzen T und Messunsicherheiten U im Ausgangszustand und nach der Optimierung; Grenzwert der Prüfprozesseignung U/T ≤ 0,1

Prüfmerkmal	Mindestwerte		Istwerte	
	C _p	C _{pk}	C _p	C _{pk}
Durchmesser 35,5	1,67	1,33	1,58	1,52
Durchmesser 50,1	1,67	1,33	1,88	1,74
Rundlauf ø 50,1	1,67	1,33	1,80	1,73
Abstand 36,4	1,67	1,33	18,7	18,3
Abstand 43,2	1,67	1,33	1,56	1,22
Methode zur Unsicherheitsermittlung	Messunsicherheitsbilanz	Kalibriertes Werkstück	Messunsicherheitsbilanz	Kalibriertes Werkstück
Rechnerischer Ausschussanteil	0,19 %	0,18 %	0,05 %	0,03 %
Grenzstückzahl	210 000		550 000	

Tabelle 2. Vergleich der Ausschussanteile und der Kosten mit den angestrebten Mindestwerten und den Istwerten von c_p und c_{pk} für die Prozessfähigkeit

unsicherheit bei 16 Punkten auf 3,6 µm, was immer noch zu viel ist. Der größte Unsicherheitsbeitrag kommt von der Messung eines der beiden Bezugselemente. Wird auch hier die Punktzahl am Kreis von 6 auf 16 erhöht, ist U = 3,0 µm (Spalte 5).

Die ermittelten Messunsicherheiten lassen sich auf andere Merkmale übertragen, wenn die Ähnlichkeitsbedingungen in DIN EN ISO 15530-3 eingehalten sind.

Messunsicherheitsermittlung mit kalibrierten Werkstücken

Alternativ zur Messunsicherheitsbilanz kann die Messunsicherheit mit einem kalibrierten Werkstück ermittelt werden. Im Allgemeinen ist hier die Unsicherheit kleiner, da der Einfluss der Formabweichungen nicht erfasst wird, wenn mit demselben Messprogramm immer dieselben Stellen der Oberfläche gemessen werden. Auch werden in den Messreihen möglicherweise noch andere Einflüsse nicht vollständig erfasst, zum Beispiel die Temperatur.

Für einen Vergleich müssen beide Messunsicherheiten bekannt sein. Beim kalibrierten Werkstück ist das erst nach Abschluss der Messreihen der Fall. Eine Entscheidung, ob sich das lohnt, kann so erst hinterher getroffen werden. Das ist nicht besonders befriedigend.

Die Chancen zur Reduzierung der Messunsicherheit lassen sich ebenfalls mit der Messunsicherheitsbilanz bestimmen, indem der Einfluss der Formabweichungen auf null gesetzt wird (Tabelle 1, Spalte 6). Die Unsicherheiten sind etwas kleiner als für die optimierte Messstrategie. Im Zweifelsfall kann diese Aussage mittels der Messreihen am kalibrierten Werkstück nachgeprüft werden.

Fraglich ist, ob die kleinere Messunsicherheit den Anteil von aussortierten Teilen nach den Entscheidungsregeln in DIN EN ISO 14253-1 spürbar verringert (Bild 1). Diese Quote hängt neben der Messunsicherheit auch vom Fertigungsprozess selbst ab. Zu Beginn einer neuen Serienfertigung liegen darüber jedoch

noch keine Informationen vor. Deshalb werden in Tabelle 2 zwei Modellrechnungen gegenübergestellt: Zunächst wird mit den angestrebten Mindestwerten von c_p und c_{pk} für die Prozessfähigkeit gerechnet und dann mit den tatsächlich erreichten (Auswertung von circa 100 Stichproben, verteilt über mehrere Wochen).

Tabelle 2 zeigt eine deutlichere Verringerung der Ausschussquote bei den Istwerten gegenüber den Mindestwerten. Das lässt sich aber nicht verallgemeinern, da die Istwerte erst bei der laufenden Serienfertigung ermittelt werden können.

Vergleich der Kosten

Für das kalibrierte Werkstück werden folgende Kosten angesetzt:

- Preis der Werkstücke (4 Stück à 6 Euro),
- Kalibrierung des Werkstücks (500 Euro),
- Messung der vier Werkstücke (4 Stunden à 76 Euro),
- Berechnung der Messunsicherheiten (1 Stunde à 56 Euro).

In der Summe ergeben sich 884 Euro. Der Aufwand zum Erstellen der Messunsicherheitsbilanz beträgt eine Stunde à 56 Euro.

Mit den angegebenen Daten lässt sich die Grenzstückzahl berechnen, ab der die Ermittlung der Messunsicherheit mit dem kalibrierten Werkstück wegen der erzielten kleineren Messunsicherheit und des damit verringerten rechnerischen Ausschussanteils wirtschaftlicher als die Messunsicherheitsbilanz ist. Für den angestrebten Sollzustand beträgt sie 210 000 Stück, für den Istzustand 550 000.

Die Messunsicherheitsbilanz ist also (wie in den meisten Fällen) die zu bevorzugende Methode, zumal sich mit ihr bereits vor Serienstart die Messstrategie optimieren lässt. □