

Messunsicherheitsbestimmung

Die aufgabenspezifische Messunsicherheit von Koordinatenmessungen wird benötigt, um sowohl die Prüfprozesseignung nach VDA Band 5 für interne Fertigungsprozesse als auch die Übereinstimmung oder Nicht-Übereinstimmung mit der Spezifikation nach DIN EN ISO 14253-1 (Entscheidungsregeln) zu beurteilen. Die Unsicherheit kann heute mit drei verschiedenen Verfahren ermittelt werden, die sich nach Aufwand und Aussage unterscheiden.

Computersimulation (Virtuelles KMG)

Voraussetzungen für das Simulationsverfahren sind eine spezielle Software, die bisher nur von zwei KMG-Herstellern angeboten wird, sowie die Qualifikation des KMG durch Messungen an Kugelplatten, um die für die Simulation erforderlichen Daten zu

gewinnen, siehe VDI/VDE 2617 Blatt 7. Die ermittelte Messunsicherheit enthält allerdings nicht den Einfluss der örtlichen Formabweichungen der Werkstückoberfläche und gilt deshalb nur für die aktuell angetasteten Messpunkte. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Beiträge der einzelnen Einflussgrößen nicht angegeben werden. Damit werden die dominierenden bzw. vernachlässigbar kleine Einflüsse nicht erkannt, und es lassen sich keine Möglichkeiten zur gezielten Reduzierung der Messunsicherheit bzw. des Prüfaufwands (Messpunktanzahl) ableiten.

ebenso drei weitere Werkstücke. Werden bei diesen Wiederholungsmessungen immer dieselben Punkte der Oberflächen angetastet, wird aber auch hier der Einfluss der Formabweichungen nicht erfasst. Die systematische Abweichung zwischen dem Mittelwert der Messwerte und dem Kalibrierwert kann je nach Lage der Messpunkte zufällig groß oder klein sein, siehe Tabelle 1. Die Standardabweichung der Messungen an verschiedenen Stellen ist mit 1,35 µm deutlich größer als an denselben (im Mittel 0,09 µm). Dagegen reichen schon relative wenige Messungen an verschiedenen Stellen aus, um die Standardabweichung richtig zu ermitteln.

Ein weiteres Problem ist der Temperatureinfluss: Mögliche Maßunterschiede werden nur soweit erfasst, wie sich die Temperaturen während der Messreihe tatsächlich ändern. Deshalb muss die Messreihe über einen größeren Zeitraum ausgedehnt werden (was Probleme mit der Organisation bringen kann), und die auftretenden Temperaturen am Werkstück und am KMG sind zu dokumentieren. Die ermittelte Unsicherheit gilt dann nur für diesen Temperaturbereich.

DER AUTOR



Dr.-Ing. Michael Hernla, dr. hernla Qualitätsmanagement Koordinatenmesstechnik

Messung von kalibrierten Werkstücken

Das Verfahren ist in ISO/TS 15530-3 bzw. VDI/VDE 2617 Blatt 8 Anhang C beschrieben. Ein mit dem Virtuellen KMG kalibriertes Werkstück wird zwanzigmal gemessen,

Berechnung (Messunsicherheitsbilanz)

Bei der rechnerischen Ermittlung müssen für jede Messaufgabe ein mathematisches Modell formuliert und die Daten für die we-

Messung Nr.	Messung für Meßstellenmuster Nr.					Mittelwert	Streuung
	1	2	3	4	5		
1	100,0135	100,0112	100,0111	100,0097	100,0107	100,0112	0,0014
2	100,0135	100,0112	100,0111	100,0097	100,0109	100,0113	0,00138
3	100,0136	100,0112	100,0113	100,0098	100,0108	100,0113	0,0014
4	100,0135	100,0112	100,0113	100,0098	100,0108	100,0113	0,00136
:	:	:	:	:	:	:	:
20	100,0137	100,0114	100,0115	100,0099	100,0111	100,0115	0,00138
Mittelwert	100,0135	100,0113	100,0114	100,0098	100,011	100,0114	0,00135
Streuung	0,00006	0,00009	0,00012	0,00006	0,00012	0,00009	

Tabelle 1: Bohrungsdurchmesser aus Wiederholungsmessungen an denselben Stellen (Spalten) bzw. an verschiedenen Stellen der Oberfläche (Zeilen) mit je 8 Messpunkten

Einflussgröße	Einheit	Messwert bzw. Schätzwert	Messpunktanzahl bzw. Verteilung	Standardabw. bzw. Grenze	Standardunsicherheit	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
X_i	$[X_i]$	x_i	n_i	s_i bzw. a_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$
D_W	mm	100	8	0,003	0,0021	1	0,0021
D_E	mm	0	6	0,001	0,001	1	0,001
α_W	$10^{-6}/K$	12	Rechteck	2,4	1,4	0,0001	0,0001
t_W	$^{\circ}C$	20	Rechteck	2	1,15	0,0012	0,0014
α_S	$10^{-6}/K$	7,8	Rechteck	0,5	0,29	0	0
t_S	$^{\circ}C$	20	Rechteck	2	1,15	0,001	0,0012
ΔD	mm	0	Normal	0,0005	0,00025	1	0,0003
D	mm	100	Standardunsicherheit der Messgröße:			$u(y) =$	0,003
			Effektive Freiheitsgrade:			$n_{eff} =$	17,6
			Erweiterungsfaktor:			$k =$	2,11
			Erweiterte Messunsicherheit (P=95%):			$U =$	0,0063

Tabelle 2: Beispiel für die Messunsicherheitsbilanz des Bohrungsdurchmessers aus Tabelle 1, gemessen mit acht gleichabständig am ganzen Kreisumfang angeordneten Messpunkten

Einflußgrößen:

- D_w Durchmesser des Ausgleichskreises am Werkstück (mit Formabweichungen)
- D_E Abweichung des Tasterdurchmessers beim Einmessen
- α_w Ausdehnungskoeffizient des Werkstücks (Stahl)
- t_w Temperatur des Werkstücks
- α_s Ausdehnungskoeffizient der Meßgeräte-Maßstäbe (Floatglas)
- t_s Temperatur des Meßgeräte-Maßstabs (Mittelwert von beiden Achsen)
- ΔD Geometrieabweichung des KMG; Anteil vom Grenzwert $a = D/K$
- $K = 200$

sentlichen Einflussgrößen eingesetzt werden: Werkstückoberfläche mit Anzahl und Anordnung der Messpunkte, Einmessen des Tasters, Geometrieabweichungen des KMG sowie Temperatur.

Der Vorteil liegt in der kompletten Abschätzung der Messunsicherheit. Es werden nur die aus der Messung sowieso bekannten Informationen verwendet.

Die Anwendung des Verfahrens lässt sich mit Kalkulationstabellen auf der Basis handelsüblicher Bürosoftware für bestimmte Gruppen von Prüfmerkmalen erheblich vereinfachen, z.B. Durchmesser, Abstand, Richtungsabweichungen, Position, Symmetrie und Koaxialität. Die Tabelle 2 zeigt die Messunsicherheitsbilanz eines Durchmessers. Die Einfachheit des Verfahrens bedingt, dass die Unsicherheit eher zu groß als zu klein abgeschätzt wird. Sie liegt damit auf der sicheren Seite.

Vergleich und Anwendung der Verfahren

Bei der Bewertung der ermittelten Messunsicherheiten ist zu beachten, dass sowohl beim Virtuellen KMG als auch bei den kalibrierten Werkstücken in der Regel nicht alle Unsicherheitsbeiträge erfasst werden. Das gilt besonders für die Formabweichungen der Oberfläche, die bei den üblichen Bearbeitungsgenauigkeiten im Maschinenbau

ZITAT

Das sonderbare Wesen: mit den Füßen im Schlamm, mit dem Kopf in den Sternen.

Else Lasker-Schüler (1869–1945), dt. expressionist. Dichterin

und kleinen Messpunktzahlen häufig den größten Unsicherheitsbeitrag liefern. Hier wird die Unsicherheit nur durch das Berechnungsverfahren vollständig abgeschätzt. Darüber hinaus gibt es deutliche Unterschiede im Zeit- und Kostenaufwand, die bei einer Entscheidung für das eine oder andere Verfahren beachtet werden sollten, siehe Tabelle 3. Das Berechnungsverfahren ist das einzige, mit dem sich die Messunsicherheiten unabhängig vom KMG-Hersteller und von kalibrierten Werkstücken kostengünstig und für alle wesentlichen Einflussgrößen ermitteln lassen, und mit dem sich die Messstrategie z.B. durch die Variation der Messpunktanzahl gezielt optimieren lässt.

dr. hernla, Dortmund

[Online-Info](#)

QE ###
www.dr-hernla.de

Vergleichskriterium	Verfahren		
	Virtuelles KMG	Kalibrierte Werkstücke	Berechnung
Technische Voraussetzungen	VCMM-Software Qualifikation des KMG	Kalibriertes Werkstück	keine (Kalkulationstabellen)
Abhängig von KMG-Hersteller und Software	nur zwei Hersteller	nein	nein
Personelle Voraussetzungen	Schulung	keine	Schulung
Formabweichungen der Oberfläche erfaßt	nein	nein	ja
Temperatureinfluss	vollständig abgeschätzt	Erfassung in Messreihen nur bedingt möglich	vollständig abgeschätzt
Dokumentation der Unsicherheitsbeiträge	keine einzelnen Beiträge	teilweise (zusammengefasst)	alle einzelnen Beiträge
Optimierung der Messstrategie	nur bedingt möglich durch Probieren	nur bedingt möglich durch Probieren	gezielt möglich durch Kenntnis der Einzelbeiträge
Zeitaufwand	gering; KMG-extern möglich	groß (wiederholte Messreihen am KMG)	gering bis mäßig, KMG-extern
Kostenaufwand	groß: VCMM-Software Qualifikation des KMG	groß: Bereitstellung und Kalibrierung der Werkstücke Meßreihen am KMG	gering: Schulung des Personals Berechnung mit Kalkulationstabellen

Tabelle 3: Vergleich von Verfahren zur Messunsicherheitsbestimmung