

Gewissheit über die Unsicherheit

Kalibrierung von realen Werkstücken

Friedhelm Bösser, Michael Trenk, Bad Endbach-Bottenhorn und Lutz Wisweh, Steffen Wengler, Magdeburg

Der in Normen und Richtlinien geforderte Nachweis der Messunsicherheit von Koordinatenmessgeräten (KMG) gestaltet sich in vielen Fällen immer noch schwierig. Erfahrungen bei der Anwendung eines so genannten virtuellen Koordinatenmessgeräts zeigen, welche Möglichkeiten es bietet, Messergebnisse besser vergleichen und Werkstücke kalibrieren zu können.

Die Möglichkeiten der rechnerischen Korrektur einer Vielzahl geometrischer Restabweichungen haben die Attraktivität der Nutzung der Koordinatenmesstechnik auch in hohen Genauigkeitsbereichen verbessert. So werden KMG nicht nur zur Messung von Serienteilen mit nahezu allen geometrischen Formen in der Fertigungs- bzw. Wareneingangskontrolle, sondern auch zur Überwachung von Werkzeugen, Lehren und weiteren Maßverkörperungen mit Erfolg eingesetzt.

Mit unterschiedlichem messtechnischem Aufwand können KMG heute hinsichtlich ihrer normenkonformen Messung abgenommen, kalibriert, überwacht und danach auch selbst zur Kalibrierung von Normalen eingesetzt werden.

Problematisch ist in vielen Fällen allerdings noch immer die Angabe oder der Nachweis der Unsicherheit des Messergebnisses. Und zwar nicht nur

als allgemeine, längenabhängige Gerätegröße, sondern als ein Kennwert, der auf die jeweilige Werkstückgeometrie bezogen ist.

Normen treffen keine eindeutigen Aussagen

Der Messtechniker steht gegenwärtig vor der Situation, dass in nationalen und internationalen Normen und Dokumenten verschiedene Möglichkeiten zur Beschreibung und Ermittlung der Messunsicherheit als eindimensionale Größe existieren (GUM, ISO/DIS 14253-2, DIN 1319, insbesondere die Teile 3 und 4, DIN 2257). Zulieferer werden darüber hinaus oftmals noch mit Forderungen aus speziellen Normen für bestimmte Industriesektoren bzw. firmenspezifischen Werksnormen wie z.B. der Automobilhersteller und Zulieferer konfrontiert. Diese beziehen sich jedoch überwiegend nicht auf den Nachweis der

Messunsicherheit, sondern auf die Bestimmung der Prüfmittel- bzw. Messgeräteeignung. Vielfach unterscheiden sich dabei nicht nur die Begriffe, sondern auch die Bestimmungs- bzw. Berechnungsvorschriften [1].

Für den Anwender reichen diese allgemein gültigen Empfehlungen nicht aus. Besonders zur Abnahme bzw. Annahme von Geräten existieren ergänzende Normen und Richtlinien. Neben einer Reihe weiterer nationaler und internationaler Normen sind für den Anwender die DIN EN ISO 10360 und die VDI 2617 derzeit maßgeblich.

Unsicherheitsvorgaben für Punktabstände nicht universell nutzbar

Die hierin empfohlene messaufgaben-spezifische Unsicherheitsbestimmung bezieht sich allerdings nur auf Abstände von Punkten innerhalb des Messvolu-

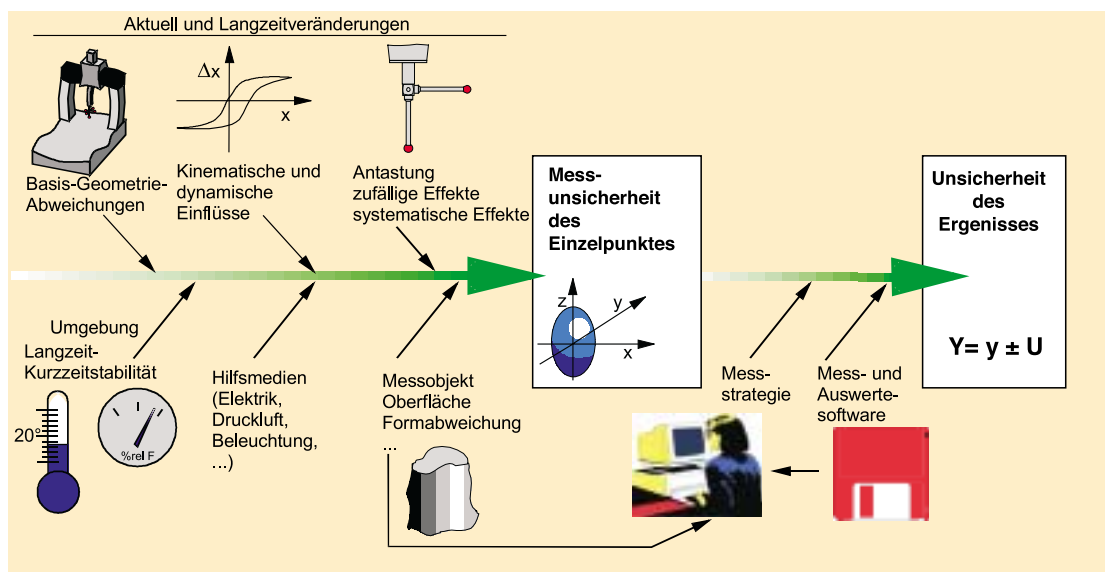


Bild 1. Unsicherheitseinflüsse bei der Koordinatenmessung (Übersicht)

mens, die durch Endmaße, Stufenendmaße, Kugelplatten oder quaderförmige Messobjekte verkörpert werden. Diese Vorgehensweise kann jedoch nicht direkt auf andere Messaufgaben, wie z.B. die Durchmessermessung von Bohrungen oder die Ermittlung von Form- und Lageabweichungen übertragen werden.

Empfehlungen zur Berücksichtigung der Messunsicherheit für eindimensionale Messaufgaben lassen sich aus der

erfassen. Im Allgemeinen ist der damit verbundene Zeit- und Kostenaufwand inakzeptabel.

► **Substituieren**

Für bestimmte Einsatzfelder wird vielfach das Substitutionsverfahren (ISO CD 15530) empfohlen, bei dem Rückschlüsse auf die aufgabenspezifische Messunsicherheit durch die Messung eines kalibrierten Normals (Maßverkörperung) gezogen werden.

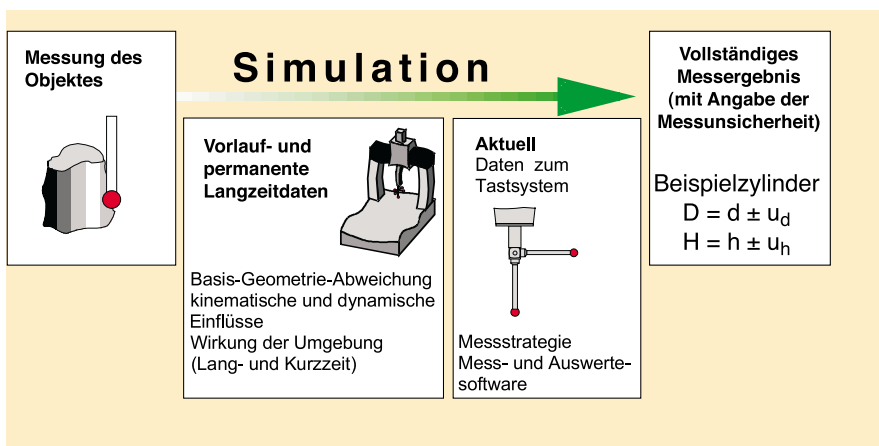


Bild 2. Virtuelles Koordinatenmessgerät (d: Durchmesser, h: Höhe des gemessenen Zylinders)

DIN EN ISO 14253-1 und teilweise aus der QS 9000 ableiten. Im Unterschied hierzu existiert bei der dreidimensionalen Koordinatenmesstechnik eine wesentlich höhere Zahl von Einflusskomponenten als bei der eindimensionalen Messtechnik. Diese sind für die Sicherheit der Bewertung der Werkstückgeometrie von Bedeutung (Bild 1).

Verschiedene Möglichkeiten zur Angabe der Messunsicherheit

Aus der Notwendigkeit heraus, die Unsicherheit der Messergebnisse auch beim Einsatz der Koordinatenmesstechnik angeben zu müssen, wurden verschiedene Möglichkeiten entwickelt.

► **Abschätzen**

Von untergeordneter praktischer Bedeutung für die Koordinatenmessung ist ein Verfahren zur Abschätzung der Messunsicherheit, wie es beispielsweise in der ISO/DIS 14253-2 auf die GUM (Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen) aufbauend, empfohlen wird.

► **Wiederholungsmessungen**

Wiederholungsmessungen erlauben es, gezielt die Auswirkungen einzelner Einflussgrößen auf die Messergebnisse zu

► **Simulieren**

Ein von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) als Koordinator im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens „Rückführbarkeit von Koordinatenmessgeräten“ entwickeltes Verfahren beruht auf der Erstellung eines Unsicherheitsbudgets mit Hilfe des so genannten virtuellen Koordinatenmessgeräts. Das Softwarepaket OVCMM (Online Virtual Coordinate Measuring Machine) stellt gegenwärtig das dafür am weitesten entwickelte System dar [2, 4].

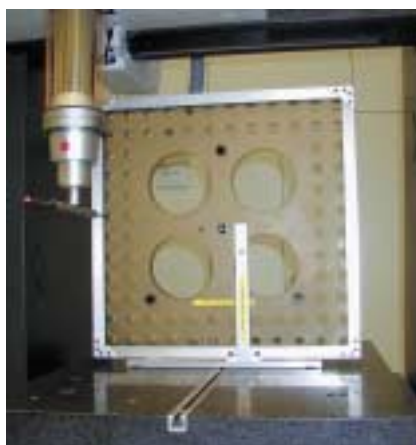


Bild 3. Ermittlung der Abweichungskomponenten eines KMG mit Hilfe einer Lochplatte

Virtuelles Modell des Koordinatenmessgeräts

Die Grundidee des virtuellen KMG basiert darauf, dass auf dem zu bewertenden Messgerät zunächst kalibrierte Maßverkörperungen (Normale) nach einer durch die PTB festgelegten Methode gemessen werden. Hierfür eignen sich kalibrierte Lochplatten, Kugelbuchsenplatten oder Kugelplatten, die in festgeschriebenen Messpositionen innerhalb des Messvolumens und mit vorgegebenen Taststiftkombinationen gemessen werden [2, 3].

Aus den Ergebnissen dieser Messungen werden die charakteristischen systematischen Abweichungen des Geräts sowie seine zufälligen Einflüsse und die der Umgebung ermittelt. Diese werden im Rechner hinterlegt und daraus das virtuelle Modell des jeweiligen KMG bestimmt. Die Messungen sind vom Anwender in festgelegten Intervallen an bestimmten Normalen zu wiederholen und als wesentliche Komponenten der Langzeitstabilität zu dokumentieren.

Vor Beginn jeder Werkstückmessung ist neben der Taststiftkalibrierung die Bestimmung der so genannten Tastercharakteristik jedes einzelnen Taststifts notwendig. Diese beschreibt die zufälligen und systematischen Abweichungseinflüsse beim Antastvorgang.

Wie bisher misst das KMG punktweise nach der vom Bediener festgelegten Strategie. Darauf aufbauend erfolgt die Bestimmung zufälliger Messabweichungen durch Simulation von Wiederholungsmessungen, welche die Wirkung der zuvor erfassten relevanten Unsicherheitskomponenten berücksichtigen. Aus den Ergebnissen dieser simulierten Wiederholungsmessungen können die Unsicherheiten für die gewonnenen Messergebnisse abgeleitet werden (Bild 2). Ein praktisches Beispiel für die Ermittlung der Abweichungen eines KMG mit Hilfe einer Lochplatte zeigt Bild 3.

Das eigene KMG kennen

Auf der Grundlage der für jedes Element angegebenen Unsicherheit kann der Nutzer eine objektive Entscheidung darüber treffen, ob das Messgerät geeignet ist, den geforderten Qualitätsnachweis ausreichend sicher zu erbringen. Die daraus ableitbare Eignung des Messprozesses nach DIN EN ISO 9001 und 142353-1 ist ein wesentliches Instru-

ment bei der Darstellung der eigenen Möglichkeiten gegenüber einem Kunden.

Darüber hinaus kann die ermittelte Messunsicherheit auch für eine anforderungs- bzw. qualitätsgerechte Messgeräteplanung und -belegung sowie zur Planung von Investitionen bzw. Neubeschaffungen herangezogen werden.

Über eine langfristige Dokumentation der ermittelten Unsicherheiten und deren zeit- und nutzungsabhängigen Ver-



Bild 4. Kalibrierung eines Pumpengehäuses

änderungen ergibt sich ein weiterer wesentlicher Vorteil in der Möglichkeit, eine notwendige Instandhaltung erst dann zu veranlassen, wenn sie objektiv erforderlich ist. Gegenüber einer routinemäßigen periodischen Instandhaltung ergeben sich in diesem Fall spürbare Kosteneinsparungen.

Durch die Nutzung der Möglichkeiten des virtuellen KMG wird der Anwender erstmalig in die Lage versetzt, die durch ihn gewählte Messstrategie (Anzahl und Anordnung der Messpunkte, Werkstückausrichtung, Verknüpfungen, Form- und Lageauswertungen, Taststiftkombinationen, Voreinstellung der Messgeräteparameter wie Antastgeschwindigkeit, Messkraft etc.) zu bewerten und zu optimie-

ren. Mit diesen Schritten ist auch eine vorgelagerte Prüfplanung zu qualifizieren.

Kalibrierung von Werkstücken

Mit Hilfe des virtuellen KMG wird es erstmalig möglich, ein reales Werkstück zu kalibrieren, d.h. mittels Messwert und Unsicherheit einen Bereich für die interessierende Messgröße anzugeben, in dem ihr wahrer Wert sicher zu finden ist. Dieses kalibrierte, reale Werkstück kann als Maßverkörperung zur Kontrolle bzw. Einstellung anderer Geräte oder Messsysteme, z.B. als Referenzteil für Messvorrichtungen, herangezogen werden.

Seit 1997 erprobte das vorwiegend im Bereich der Koordinatenmessung tätige Dienstleistungsunternehmen Feinmess den praktische Einsatz des virtuellen KMG anhand des Softwarepakets OVCMM in Verbindung mit der Software Quindos. Auch zur Kalibrierung von Werkstücken sammelte das Unternehmen zahlreiche Erfahrungen.

In einer ergänzenden, mehr als einjährigen Pilotphase erprobten auch ausgewählte Anwender (BMW, Bosch und DaimlerChrysler) das virtuelle Koordinatenmessgerät. Dazu erfasste Feinmess zunächst die charakteristischen Abweichungen der in die Untersuchungen einbezogenen KMG, installierte die Software, schulte die Mitarbeiter mit den jeweils neuesten Anwendungsoptionen und begleitete das Projekt. Auch die abschließende Auswertung und zusammenfassende Bewertung der Erfahrungen lag in der Hand des Dienstleisters.

Die genannten Firmen setzen die Software inzwischen schwerpunktmäßig zum Kalibrieren von Referenzteilen zur fertigungsnahen Überwachung der dort eingesetzten Messmaschinen ein. Das

gilt auch für sehr komplexe geometrische Formen wie etwa Pumpengehäuse (Bild 4). Der erfolgreiche Einsatz zur Justage von Messvorrichtungen konnte nachgewiesen werden. Es hat sich gezeigt, dass das virtuelle KMG neben der anforderungs- und normenkonformen Bestimmung der Messunsicherheit eine deutliche Zeit- und Kostenersparnis bringt.

Erweiterung für ergänzende Anwendungen geplant

Nach dem Abschluss der Pilotphase sind die zukünftigen Aktivitäten darauf gerichtet, die verbesserten Möglichkeiten der Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu nutzen. Die Anbieter von KMG-Mess- und Auswertesoftware sind jetzt gefordert, die Integration des virtuellen KMG zu verbessern bzw. zu ermöglichen. Zur Nutzung des Softwarepakets OVCMM sollte der Softwarelieferant den Bedienkomfort dem aktuellen Anforderungsprofil anpassen.

Die internationale Entwicklung zeigt, dass das virtuelle Koordinatenmessgerät nicht die einzige industriell nutzbare Möglichkeit zur Fehlerabschätzung und Ermittlung der Messunsicherheit bleiben wird. Alternative Entwicklungsergebnisse werden in internationalen Ringvergleichen weitere Analysen und Abstimmungen erfordern.

Die nächsten Entwicklungsetappen sind, unter der Koordination der PTB, auch auf die Erweiterung der Software für ergänzende Anwendungsfälle (z.B. Verzahnungen) zu richten. Erste Schritte in Richtung der DKD-Kalibrierung wurden im PTB-Arbeitskreis „Vorbereitung der Akkreditierung von Laboratorien zur Kalibrierung von prismatischen Werkstücken nach der Methode des virtuellen KMG“ unternommen. Diese Akkreditierung schließt die Zertifizierung der dann von KMG-Herstellern vertriebenen Software mit ein.

Literatur

- Sandau, M.; Wisweh, L.: Viele Wege, ein Ziel? Eignung von Messgeräten zur geometrischen Qualitätsbewertung. Teil 1: QZ 43 (1998) 10, S. 1246-1249; Teil 2: QZ 43 (1998) 11, S. 1376-1380
- Weckenmann, A; Gawande, B.: Koordinatenmesstechnik. Flexible Strategien für Maß, Form und Lage, Carl Hanser Verlag, München 1999
- Bösser, F.; Trenk, M.: Referenz-Kugelplatten mit hoher Stützdichte setzen neue Maßstäbe

Content in Short

Certainty about uncertainty. Calibration of workpieces. Proof of the measuring uncertainty of coordinate inspection machines, as required by standards and guidelines, is proving increasingly difficult to establish in many cases. Experience in the use of a so-called virtual coordinate inspection machine reveals the opportunities it offers for making better comparisons of measurement results and enabling inspection machines and workpieces to be calibrated.



- bei der Prüfung von Koordinatenmessgeräten. QZ 42 (1997) 1, S. 79–83
- 4 Hüser, D.; Trapet, E.; Wäldele, F.; Wiegand U.: Kalibrierung von Koordinatenmessgeräten mit Kugel- und Lochplatten, Anleitung für DKD-Laboratorien. PTB (Hrsg.), Braunschweig 1996

Die Autoren dieses Beitrags

Friedhelm Bösser, geb. 1953, gelernter Modellschlosser, schloss die staatliche Technikerschule Weilburg als Feinwerktechniker ab. Nach mehrjähriger Tätigkeit in der Konstruktion wechselte er zu DEA in Turin, Italien, und vertrieb deren Koordinatenmessgeräte in Deutschland. Von 1986 bis 1992 arbeitete er bei Leitz Messtechnik, Wetzlar, in Vertrieb und Marketing. Seit 1992 ist er Geschäftsführer der Feinmess GmbH & Co. KG in Bad Endbach, die er zusammen mit Michael Trenk gründete.

Michael Trenk, geb. 1956, studierte Feinwerktechnik an der FH Gießen. Nach dem Studium war er von 1980 bis 1992 bei Leitz Messtechnik, Wetzlar, in der Anwendungstechnik

und in der technischen Vertriebsunterstützung für KMG tätig. Seit 1992 ist er ebenfalls Feinmess-Geschäftsführer.

Dr.-Ing. habil. Lutz Wisweh, geb. 1948, studierte Fertigungstechnik in der Vertiefungsrichtung betriebliches Messwesen an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. 1975 promovierte er am dortigen Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung (IFQ), wo er sich 1987 habilitierte. Seit 1989 ist er im gleichen Institut Dozent und seit 1994 Privatdozent auf dem Gebiet Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik. 1999 nahm er eine zeitlich befristete Professur an der Niigata University in Japan wahr. Seit Oktober 1999 ist er wieder am IFQ tätig.

Dr.-Ing. Steffen Wengler, geb. 1960, studierte Technologie der Metall verarbeitenden Industrie mit der Vertiefungsrichtung Qualitätssicherung und Fertigungsmesstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Seit 1990 ist er Bereichsleiter im Messtechniklabor des Instituts für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung der gleichen Universität.