

# Mathematisch exakt anstatt empirisch vage

## Die Möglichkeiten präziser Messunsicherheitsbestimmung bei Koordinatenmessungen

Michael Hernla, Dortmund

Die technischen Möglichkeiten von Koordinatenmessgeräten haben sich in den letzten Jahren geradezu rasant entwickelt. Selbst für ausgewiesene Fachleute ist es schwer, die vielen innovativen Lösungen zu überblicken. Dabei wird allerdings die Diskrepanz zu den Kenntnissen der Anwender von Koordinatenmessgeräten in der industriellen Praxis immer größer. Die Schulungen der Messgerätehersteller konzentrieren sich in der Regel auf die Gerätetechnik und die Software, während für die konkreten Problemlösungen meist nur allgemeine Hinweise gegeben werden. Das lässt sich auch mit der folgenden, schon vor längerer Zeit formulierten Aussage unterstreichen:

- ▶ Drei Tausendstel Fehler verursacht das Messgerät,
- ▶ drei Hundertstel die Software
- ▶ und drei Zehntel der Bediener.

Die Problematik setzt sich bei der Frage nach der Messunsicherheit von Koordinatenmessungen fort. Zwar haben sich die VDI-Richtlinien zur Annahmeprüfung von Koordinatenmessgeräten seit Jahrzehnten bewährt und sind auch Basis für die aktuellen ISO-Normen zu dem Thema, zur Ermittlung der aufgabenspezifischen Unsicherheit von Koordinatenmessungen gibt es bisher jedoch kein allgemein anerkanntes Verfahren.

### Kein unlösbares Problem

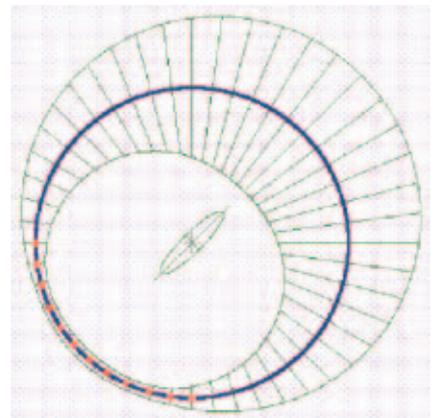
In einschlägigen Veröffentlichungen wird häufig der Eindruck erweckt, als

Die Ermittlung der Messunsicherheit von Koordinatenmessgeräten ist kein unlösbares Problem. Dennoch wird sie in aller Regel gemieden und umgangen. Dabei lassen sich die theoretischen Erkenntnisse gut nutzen, um zweckmäßige Messstrategien zu definieren und prinzipielle Fehler zu vermeiden.

wäre die Erkenntnis der Gesetzmäßigkeiten der Koordinatenmessungen ein viel zu schwieriges, wenn nicht gar unlösbares Problem – ohne aber tatsächlich einen ernsthaften Lösungsversuch unternommen zu haben. Dabei sollte der Weg prinzipiell klar sein: Er führt über die Mathematik der Ausgleichsrechnung, wie sie in allen Koordinatenmessgeräten angewendet wird. Die Grundlagen sind seit zweihundert Jahren bekannt, werden heute allerdings nur teilweise umgesetzt und zum Erkenntnisgewinn genutzt.

Wird dieser Weg aber einmal beschritten, lässt sich die Messunsicherheit und z. B. ihre Abhängigkeit von der Anzahl und Anordnung der Messpunkte tatsächlich berechnen. In der langjährigen praktischen Tätigkeit des Autors sowie in entsprechenden Anwenderseminaren hat sich immer wieder gezeigt, dass die empirischen Erfahrungen der Messgerätenutzer durch die Theorie bestätigt werden. Umgekehrt lassen sich die theoretischen Erkenntnisse gut verallgemeinern, um von vornherein zweckmäßige Messstrategien zu definieren und prinzipielle Fehler zu vermeiden.

Für die Anwender von Koordinatenmessgeräten stehen einfach handhabbare Hilfsmittel in Form von Tabellen und



**Bild 1. Vertrauensbereiche des Kreismittelpunkts und der Kreislinie für zwölf auf einem Kreisabschnitt von 90° angeordnete Messpunkte; die Unsicherheit des Ausgleichskreises hängt entscheidend von der Messpunktanordnung ab**

Beispielsammlungen zur Verfügung, die sich darüber hinaus auch für die Optimierung von Zeichnungseintragungen einsetzen lassen. Das betrifft sowohl die Festlegung von Bezügen, Bezugssystemen und Lagetoleranzen als auch die Eintragung von zweckmäßigen Zahlenwerten für die Toleranzen.

Ebenso müssen sich die verschiedenen heute in der Erprobung befindlichen Verfahren zur Ermittlung der Unsi-

cherheit von Koordinatenmessungen mit der mathematischen Lösung vergleichen lassen:

- ▶ Auswertung von Messreihen,
- ▶ Simulationsverfahren mit dem virtuellen Koordinatenmessgerät sowie
- ▶ Substitutionsmessung (Vergleichsmessung mit Normalen).

### Für eine optimale Messstrategie

Dabei zeigt sich vor allem, dass diese Verfahren in der Regel nur eine pauschale Aussage über die Messunsicherheit liefern, jedoch keine Rückschlüsse auf die einzelnen Einflussgrößen zulassen. Eine optimale Messstrategie, d. h. eine ausreichende Messunsicherheit mit vertretbarem Aufwand, ist so kaum zu erreichen. Daneben weisen die einzelnen Verfahren grundsätzliche methodische Schwächen auf. Ein Vergleich der verschiedenen Verfahren zur Unsicherheitsermittlung mit der mathematischen Lösung führt u. a. zu den folgenden Erkenntnissen:

- ▶ Die Unsicherheit der Ergebnisse von Koordinatenmessungen hängt ganz

wesentlich von der Anzahl und Anordnung der Antastpunkte auf der Oberfläche ab und lässt sich sehr anschaulich mittels der Vertrauensbereiche darstellen (Bild 1).

- ▶ Bei Messreihen an Oberflächen mit ausgeprägten örtlichen Formabweichungen müssen bei jeder Messung andere Stellen der Oberfläche angestastet werden. Der Einfluss der Umgebungsbedingungen lässt sich durch Messreihen kaum vollständig erfassen, sondern besser abschätzen.
- ▶ Bei der Simulation wird der Einfluss der örtlichen Formabweichungen der Oberfläche nicht erfasst, und sie liefert keine Aussage über die Anteile der einzelnen Einflussgrößen. Der Einfluss der Geometrieabweichungen des Koordinatenmessgeräts wird häufig überschätzt.
- ▶ Substitutionsmessungen sind nur sinnvoll, wenn die Messunsicherheit tatsächlich reduziert wird.
- ▶ Die Unsicherheitsermittlung für Substitutionsmessungen nach dem Normenentwurf ISO/DTS 15530-3 erfordert ein zweites Normal in Gestalt eines kalibrierten Werkstücks. Der zu-

sätzliche Aufwand ist mathematisch nicht begründet und auch sachlich nicht gerechtfertigt, da sich die Messunsicherheit gegenüber einer konventionellen Vergleichsmessung sogar vergrößert.

Die Zukunftsperspektive wurde bereits im Editorial der QZ 45 (2000) 5 formuliert: „Vorrangiges Ziel aller Beteiligten sollte es sein, die mit den verschiedenen Ansätzen und Methoden gewonnenen Erfahrungen zusammenzuführen und auf eine gemeinsame Basis zu stellen sowie einheitliche Definitionen und Maßstäbe, nach Möglichkeit branchenübergreifend, zu schaffen.“

### Der Autor dieses Beitrags

Dr.-Ing. Michael Hernla, geb. 1955, studierte Fertigungsmesstechnik an der TU Dresden. Nach Tätigkeiten als Ingenieur für Messtechnik in der Berliner Werkzeugmaschinenfabrik und als Abteilungsleiter für Messtechnik in den Berliner Vergaser- und Filterwerken arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in einem QM-Dienstleistungsbetrieb. 1992 promovierte er an der TU Dresden, und heute ist er freiberuflicher Ingenieur.