

Christoph Lippay

Unterschätzte Fehlerquelle

TEMPERATUREINFLÜSSE BEIM MESSEN MIT KOORDINATENMESSGEÄT



Wir messen es.



TESTO AG

Testo-Straße 1 · 79853 Lenzkirch

Fon: 07653 681-700

Fax: 07653 681-701

Mail: vertrieb@testo.de

www.testo.de



TEMPERATUREINFLÜSSE BEIM MESSEN MIT KOORDINATENMESSGERÄT

Unterschätzte Fehlerquelle

Der Einsatz von 3D-Koordinatenmessgeräten in klimatisierten Messräumen macht eine Messung der Temperaturveränderungen erforderlich. 3D-Koordinatenmessgeräte ohne integrierte Temperaturerfassung können mit externen Monitoringsystemen nachgerüstet werden. Hierbei steht das konstante Datenmonitoring im Vordergrund.

In zahlreichen industriellen Unternehmen werden heute 3D-Koordinatenmessgeräte (KMG) in klimatisierten Messräumen eingesetzt. Für diese KMG werden die spezifizierten Antast- und Längenmessabweichungen gemäß DIN EN ISO 10360 in den Geräteunterlagen der Hersteller angegeben. Diese Kennwerte beziehen sich auf Messungen spezieller Prüfmerkmale, die nach festgelegten Vorgaben an kalibrierten Normalen mit definierten Tastern durchgeführt werden. Die angegebenen Genauigkeiten können in dem zulässigen Temperaturbereich, der vom Hersteller für das jeweilige Gerät spezifiziert wird (z. B. von 18 bis 28 °C), nur dann erreicht werden, wenn auch die maximal zulässigen zeitlichen Temperaturgradienten pro Stunde und pro Tag (z. B. maximal 0,2 °C pro Stunde und maximal 1 °C pro Tag) sowie die räumlichen Temperaturgradienten (z. B. 0,2 °C pro Meter) eingehalten werden. Auch diese Angaben sind ebenfalls vom Hersteller genau spezifiziert.

Nicht alle Einkäufer und Anwender von Koordinatenmessgeräten sind ausreichend über die Bedeutung und Interpretation der spezifizierten Kennwerte der Hersteller sowie der hierfür erforderlichen Annahmeprüfungen und zulässigen Umgebungsbedingungen informiert. Dieses Informationsdefizit führt in der Praxis häufig dazu, dass die Anwender den zulässigen Temperaturbereich so interpretieren, dass das KMG die vom Hersteller angegebenen Spezifikationen bzw. Genauigkeiten für beliebige Messungen mit beliebigen Tastern an beliebigen Werkstücken im gesamten angegebenen Temperaturbereich sicher erreicht. Die ebenfalls vom Hersteller spezifizierten maximal zulässigen

Temperaturveränderungen pro Zeiteinheit werden hierbei von den KMG-Anwendern meist nicht berücksichtigt.

Das Ergebnis einer solchen Fehlinterpretation ist, dass viele Messgeräte unter Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, bei denen die vom Hersteller spezifizierten Kennwerte nicht erreicht werden können. Die Folge sind Messergebnisse, die zum Teil mit erheblich größeren Messunsicherheiten behaftet sind, als dies den Bedienern bewusst ist. Dies wiederum kann zu erheblichen Mehrkosten im Produktherstellungsprozess führen, da die Messergebnisse ungenau und nur wenig reproduzierbar sind.

Wenn die vom Hersteller angegebenen Temperaturbedingungen nicht eingehalten werden, verändert sich die Maschinengeometrie undefiniert. Die vom Hersteller angegebenen Spezifikationen können dadurch nicht mehr eingehalten werden. Dies liegt vorwiegend an den verschiedenen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten der im KMG verwendeten Werkstoffe (zum Beispiel Aluminium, Stahl, Granit, Keramik), dem Material der Maßstäbe (Stahl, Glas, Cerodur usw.), der Bauform der Geräte und dem Material des zu messenden Werkstücks.

Die unterschiedlichen Massen der Führungselemente, an denen die Maßstäbe befestigt sind, reagieren auf eine Temperaturänderung der Umgebung zeitlich versetzt: Zuerst dehnen sich die Maßstäbe aus, danach zeitlich verzögert die massiven Teile des Geräts. Diese Einflussgrößen werden in der Praxis kaum berücksichtigt, haben jedoch aufgrund der unterschiedlichen Materialien und Massen eine komplexe Veränderung der Gesamtgeometrie zur Folge, die messtechnisch nicht exakt berücksichtigt werden kann.

Geradheits- und Ebenheitsabweichungen der Führungen sowie Abweichungen der Rechtwinkligkeit der Geräteachsen zueinander sind ebenso die Folge wie Geometrieänderungen der Maßstäbe und der Werkstücke. Messtechnisch besonders kritisch sind:

- Größe und Dauer der Temperaturänderung in der Umgebung,
- räumliche Temperaturgradienten, Schichtung, Strahlung,
- thermische Trägheit der Bauteile und Werkstücke (Dimension, Dichte, Wärmeleitung),
- Wärmeleitfähigkeit der Maßstäbe.

Von größter Bedeutung ist daher die genaue Kenntnis und Berücksichtigung der Auswirkungen der Temperatur (aktueller Wert und Veränderung pro Zeiteinheit), damit der Messtechniker die richtigen Messergebnisse ermitteln kann.

Temperatureinflüsse werden unterschätzt

„Aus zahlreichen Projekten wissen wir, dass Temperatureinflüsse bei dimensionalen Messungen häufig extrem unterschätzt werden“, berichtet Diplom-Ingenieur Klaus Banzhaf, Geschäftsführer der Eumetron GmbH mit Sitz in Aalen. Das DAkks-Kalibrierlabor hat sich auf die Kalibrierung von Referenznormalen zur Überwachung und Abnahme von Koordinatenmessgeräten mit kleinsten Messunsicherheiten sowie auf die Ermittlung spezifischer Messunsicherheiten beliebiger Prüfmerkmale an Werkstücken spezialisiert.

Eumetron ist nach eigenen Angaben derzeit als einziges Kalibrierlabor zur Bestimmung des thermischen Längenausdehnungskoeffizienten (CTE) an Normalen und Werkstücken im DAkks akkreditiert. Erst die genaue Kenntnis des CTE der zur KMG-Abnahme verwendeten Normale ermöglicht es den Herstellern hochgenauer KMG, diese auch unter Temperaturbedingungen abzunehmen, die außerhalb der Bezugstemperatur von 20 °C liegen.

Auch in klimatisierten Messräumen werden die vom KMG-Hersteller vorgegebenen Spezifikationen oft nicht eingehalten. Dies liegt:

- an der Art der Einbringung der klimatisierten Luft (punktuell oder gleichmäßig und homogen verteilt),



- am räumlichen Gradienten der Temperaturschichtung (oben wärmer und unten kühler),
- am Regelkreis der Klimaanlage (stabil und gleichmäßig oder schwankend, pulsierend),
- an der Verteilung von Wärmequellen an verschiedenen Stellen im Raum (Steuerung, Lampen, Rechner, Bildschirme, Heizung, Fenster mit Sonneneinstrahlung etc.),
- an der Bauweise und den Materialien des Messgeräts (thermostabil oder thermosensibel),
- an der Temperatur und Größe des zu messenden Werkstücks und
- an der Möglichkeit, in der Messsoftware eine Temperaturkorrektur für die Messergebnisse durchzuführen.

Die Isolation von Boden, Decke und Wänden des Messraums wird erfahrungsgemäß kaum berücksichtigt, obwohl gerade von diesen jahreszeitabhängig erhebliche Abstrahlungen in Form von Kälte und Wärme ausgehen, die sich unmittelbar auf das Messgerät und das Werkstück auswirken.

Kaum Temperaturmesseinrichtung am KMG

3D-Koordinatenmessgeräte in der gehobenen Genauigkeitsklasse sind entweder thermostabil konstruiert und/oder mit Temperaturmesseinrichtungen versehen, die von der Messsoftware automatisch ausgelesen werden können. Hierdurch werden die temperaturbedingten Messfehler weitestgehend kompensiert.

Es gibt jedoch am Markt einen umfangreichen Bestand an Geräten, die keine automatisierte Temperaturerfassung an den Maßstäben und am Werkstück ermöglichen. Hier werden die temperaturbedingten Abweichungen aufgrund des großen Aufwands für eine manuelle Temperaturerfassung an den Maßstäben und am Werkstück meist vernachlässigt.

Die Nachrüstung einer automatisierten Temperaturfassung wird vom Hersteller oft nicht angeboten oder ist aufwendig und teuer. Hierfür eignen sich Temperaturmessgeräte wie das Saveris-System der Testo AG, Lenzkirch. Bei dieser Lösung

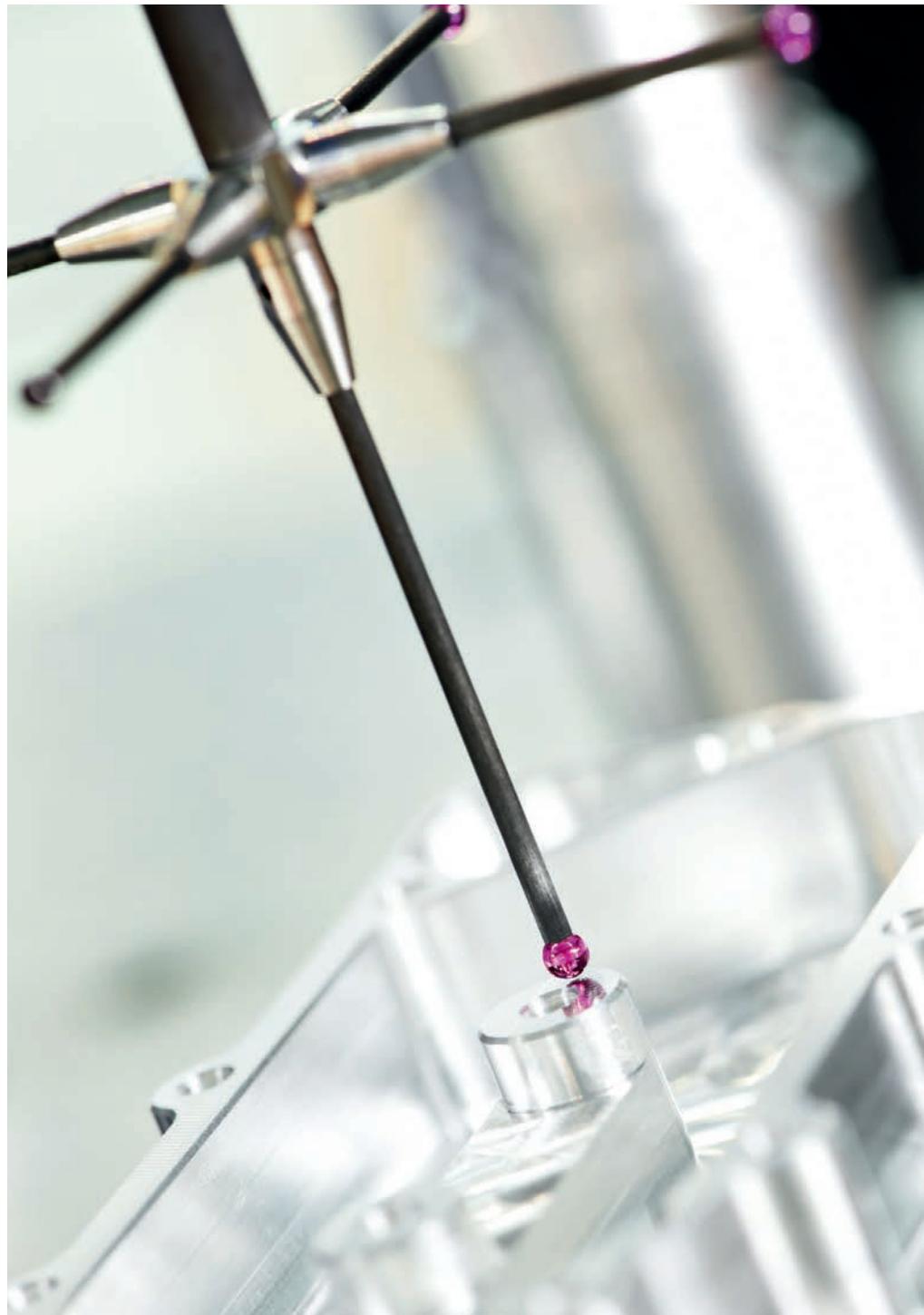
können kabellose Funk-Temperaturfühler an beliebigen Stellen im Messgerät und am Werkstück angebracht werden. Über Funk werden die Messwerte laufend in eine Datenbank übertragen. Aus dieser können die Messergebnisse ausgelesen und für eine automatisierte Temperaturkorrektur in der jeweiligen Messsoftware verwendet werden.

Temperaturerfassung ist nachzurüsten

Um Messergebnisse mit möglichst geringen Messunsicherheiten zu erhalten, sieht Klaus Banzhaf es als primär erforderlich an, die Messungen unter möglichst kon-

stanten Bedingungen durchzuführen und hierbei die Abweichungen zur Bezugs-temperatur von 20 °C zu berücksichtigen. Verfügen die Messgeräte nicht über eine integrierte Temperaturerfassung, dann können externe Temperaturerfassungslösungen eingesetzt werden.

Eumetron setzt hierbei auch das Monitoringsystem Saveris von Testo ein. Die von hochgenauen Fühlern erfassten Temperaturen werden via Funk und/oder Ethernet-Anbindung an eine Basisstation (Saveris Base) übertragen. Die Saveris Base bildet das Herzstück des Systems. Sie nimmt die Messwerte auf und setzt bei Grenzwertverletzungen sofort einen Alarm per SMS, E-Mail oder ein akus- »



Messung der Temperaturveränderung im Messraum: Koordinatenmessgeräte lassen sich mit externen Monitoringsystemen nachrüsten



tisches/visuelles Signal ab. Mithilfe der neuen Trendalarmierung ist es zudem möglich, Temperaturunterschiede über eine Stunde zu berechnen und bei zu großen Abweichungen einen Alarm beziehungsweise eine Information an die Bediener auszulösen.

Die Basisstation kann insgesamt 150 Funk- und Ethernet-Fühler mit bis zu 450 Messkanälen aufnehmen und unabhängig von einem Rechner pro Messkanal 40 000 Messwerte dokumentieren. Dies entspricht bei einer Messrate von 15 Minuten einem ungefähren Speichervermögen von einem Jahr. Sobald die Base an einen PC oder Server angeschlossen ist, überträgt sie die Daten in die mitgelieferte SQL-Datenbank. Die Messwerte können dann über die Saveris-Software analysiert und in die Eingabefelder der Temperaturkompensation eingetragen werden. Die Schnittstelle zwischen den erfassten Daten und einer Anwendung am Messgerät sehen viele Anwender als ein Problem an, das sich aber schnell relativiert.

Wie die Datenverwendung praktisch umgesetzt wird, ist zunächst geräteabhängig. Es existieren zwei Alternativen:

- Die Maschine verfügt über keine Software-Schnittstelle, mit der die Daten aus Saveris automatisch in die Messsoftware eingelesen werden können. In diesem Fall müssen die Werte manuell aus Saveris ausgelesen und in der Maschinensoftware eingetragen werden.
- Die Maschine verfügt über eine Software-Schnittstelle, mit der die Daten aus Saveris automatisch in die Messsoftware eingelesen werden können. Bei dieser Lösung werden die Werte automatisiert aus der Saveris-Datenbank ausgelesen und automatisch in den richtigen Eingabefeldern in der Temperaturkompensation der Maschinensoftware eingetragen.

Eumetron nutzt eine Software-Schnittstelle der AfM Technology GmbH, Aalen, mit der die Temperatur-Messergebnisse aus der Saveris-Datenbank ausgelesen und vollautomatisch in die Temperaturkorrek-

tur der Messsoftware Calypso, Carl Zeiss Industrielle Messtechnik, Oberkochen, übertragen werden können. In der Schnittstelle können sogar die Kalibrierdaten für die einzelnen Temperaturfühler hinterlegt und berücksichtigt werden. Der Bediener ruft bei dieser Lösung nur noch die Funktion „Temperaturkorrektur“ in der Messsoftware auf, und die Daten aller angeschlossenen Fühler (Maßstäbe und Werkstückfühler) werden vollautomatisch in die erforderlichen Eingabefelder eingetragen, und die Temperaturkorrektur kann berechnet werden. □

Christoph Lippay

► **Testo AG**
T 07653 681-700
vertrieb@testo.de
www.testo.de/saveris

QZ-Archiv
 Diesen Beitrag finden Sie online:
www.qz-online.de/684640

► **PRAXISBEISPIEL**

Messungen mit einem KMG in Portalbauweise

Grundsätzlich gilt, dass eine Messung nur dann korrekt auf die Bezugstemperatur 20 °C umgerechnet werden kann, wenn die Werkstücktemperatur und die Maßstabtemperaturen gemessen werden und der jeweilige materialabhängige thermische Längenausdehnungskoeffizient „Alpha“ bekannt ist. Ein klassisches Beispiel ist das Werkstück aus dem kühleren Lager oder direkt aus der Fertigungsmaschine, das, ohne zu temperieren, im Messraum gemessen werden soll. Wenn ein Temperaturunterschied zur Bezugstemperatur von 20 °C vorhanden ist, sollte diese möglichst konstant sein und keinen bzw. möglichst geringen Schwankungen unterliegen.

Die nachfolgenden zwei Beispiele zeigen die Auswirkung mit und ohne Temperaturkorrektur. Die Unsicherheiten der Ausdehnungskoeffizienten der Maßstäbe und des Werkstücks werden hierbei nicht berücksichtigt.

Beispiel:

- Bauteil aus Aluminium mit einer Länge von 1,0 m
- Ausdehnungskoeffizient Bauteil: $\alpha_{\text{Aluminium}} = 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Ausdehnungskoeffizient Maßstäbe: $\alpha_{\text{Maßstab}} = 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Raumtemperatur: 25 °C (in halber Höhe des Z-Messbereichs gemessen)

Variante 1: Es wird keine Temperaturkorrektur durchgeführt. Mit einer Annahme der Raumtemperatur von 25 °C ergibt sich für eine Messlänge von $L_0 = 1 \text{ m}$:

$$\Delta L = L_0 \cdot (T - 20 \text{ °C}) \cdot (\alpha_{\text{Aluminium}} - \alpha_{\text{Maßstab}})$$

$$\Delta L = 1,0 \text{ m} \cdot (25 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot (22,5 - 6,8) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} = 78,5 \text{ }\mu\text{m}$$
 Das Messergebnis ist somit um 78,5 μm falsch.

Variante 2: Es wird eine Temperaturkorrektur durchgeführt. Die Temperaturen an den Maßstäben und am Werkstück werden getrennt erfasst:

- Temperatur Werkstück (Aluminium): 25 °C
- Temperatur Maßstab X: 27 °C
- Temperatur Maßstab Y: 25 °C
- Temperatur Maßstab Z (oben): 28 °C
- Temperatur Maßstab Z (unten): 26 °C
- Mittlere Temperatur Maßstab Z: 27 °C

Im Anschluss erfolgt eine Berechnung der Korrekturwerte aufgrund der gemessenen Temperaturen:

$$X_{\text{Korr}} = 1,0 \text{ m} \cdot [(27 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} - (25 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}] = 123,5 \text{ }\mu\text{m}$$

$$Y_{\text{Korr}} = 1,0 \text{ m} \cdot [(25 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} - (25 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}] = 78,5 \text{ }\mu\text{m}$$

$$Z_{\text{Korr}} = 1,0 \text{ m} \cdot [(27 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} - (25 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}] = 123,5 \text{ }\mu\text{m}$$

Um für die Messlänge von einem Meter die korrekten X-, Y- und Z-Messergebnisse zu bestimmen, müssen die nicht korrigierten Messwerte um die berechneten Korrekturwerte verändert werden. Ansonsten resultiert eine Messabweichung in der Höhe des berechneten Korrekturwerts.

Das Beispiel verdeutlicht, dass die Temperatur einen maßgeblichen Einfluss auf die Richtigkeit der Messergebnisse hat. Ohne die Berücksichtigung der Temperaturkorrektur sind je nach Temperaturabweichung von 20 °C und je nach Messlänge die Messergebnisse mit erheblichen Abweichungen behaftet und dadurch oft unbrauchbar.