

QUALITY ENGINEERING

Sonderdruck



Siemensstraße 19
35394 Gießen
Telefon +49-(0) 6 41-7938-0
Telefax +49-(0) 6 41-7 51 01
E-Mail: mail@werthmesstechnik.de
Internet: www.werthmesstechnik.de

Werth Messtechnik GmbH



Multisensor-Koordinatenmessgeräte mit Temperaturkompensation

Sichere Messergebnisse zu jeder Jahreszeit

Taktile- und Multisensor-Koordinatenmessgeräte werden heute nicht mehr ausschließlich im Prüflabor, sondern in zunehmendem Maße direkt in der Fertigung eingesetzt. Dies bedeutet Messen bei Temperaturen, die von der Referenztemperatur 20°C stark abweichen können. Die aus dieser Temperaturdifferenz resultierenden Messfehler werden oft unterschätzt, bleiben unberücksichtigt und verfälschen dadurch die Messergebnisse.

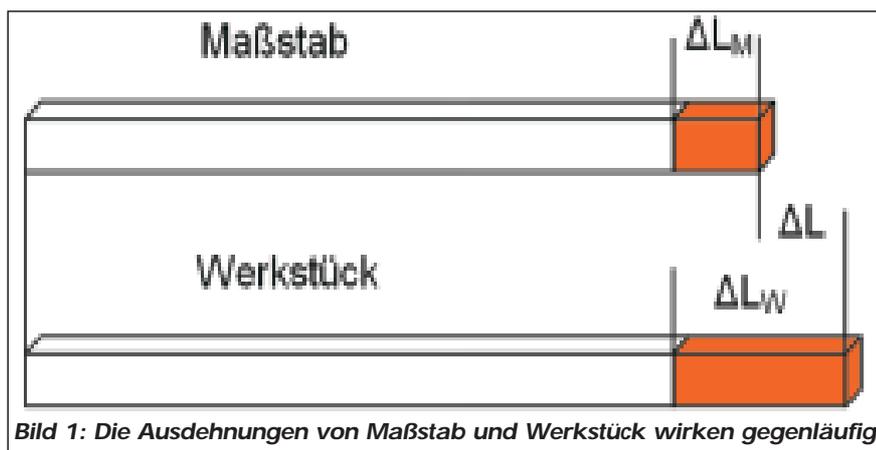


Bild 1: Die Ausdehnungen von Maßstab und Werkstück wirken gegenläufig

Neben anderen Effekten wie z.B. thermisch bedingte Verformungen des Messgerätes, Längenänderungen der Taster u. a., ist die thermisch bedingte lineare Messabweichung durch die Temperatur des Werkstücks und der Maßstäbe erfahrungsgemäß die bedeutendste Fehlerquelle. Deshalb ist es unerlässlich, bei Platzierung der Messgeräte in der Fertigung entsprechende Korrekturmaßnahmen anzuwenden.

Thermisch bedingte Messabweichung

Die von 20°C abweichenden Temperaturen führen dazu, dass sich die Maßstäbe des Koordinatenmessgerätes und das zu messende Teil aufgrund verschiedener Materialien unterschiedlich ausdehnen. Hinzu kommt noch der Einfluss unterschiedlicher Temperaturen. Da in einem Längenmessgerät diese Ausdehnungen richtungsgleich sind, wird nur die Differenz der Ausdehnung von Maßverkörperung und Werkstück wirksam. Der Einfluss der Wärmedehnung ist weitgehend linear. So ist eine einfache lineare Korrektur in den jeweiligen Messachsen kostengünstig realisierbar und bei kleineren Messlängen ausreichend.

Die thermisch bedingte Längenänderung wird prinzipiell wie folgt berechnet:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta t$$

ΔL = thermisch bedingte Längenänderung
 α = Ausdehnungskoeffizient
 L_0 = Bezugslänge, praktisch auch gemessene Länge

Δt = Temperaturabweichung $\Delta t = t - 20^\circ \text{C}$
 Ausdehnung des Maßstabs:

$$\Delta L_M = \alpha_M \cdot L_0 \cdot \Delta t_M$$

Ausdehnung des Werkstücks:

$$\Delta L_W = \alpha_W \cdot L_0 \cdot \Delta t_W$$

Die thermisch bedingte Längenmessabweichung (Bild 1) ist die Differenz von ΔL_M und ΔL_W :

$$\Delta L = L_0 (\alpha_W \cdot \Delta t_W - \alpha_M \cdot \Delta t_M)$$

Wie man aus obiger Gleichung erkennen kann, sind bei gleicher Temperaturabweichung Δt am Werkstück und Maßstab, wovon man im vereinfachten Fall ausgehen kann, nur noch die Differenzen der Ausdehnungskoeffizienten für die Längenmessabweichung ΔL ausschlaggebend.

In der Tabelle 1 sind die möglichen Messfehler, entsprechend der thermisch bedingten Längenmessabweichung ΔL bei Werkstücken unterschiedlicher Materialien für 20°C, 25°C, 30°C und 35°C Umgebungstemperatur dargestellt. Die Werte gelten für eine Messlänge von 100 mm und für Maßstäbe aus Stahl. Weiterhin wird vorausgesetzt, dass Werkstück und Maßstäbe die gleiche Temperatur angenommen haben.

Die Tabelle zeigt, dass an einem Sommertag bei 35°C in der Fertigungshalle bei der Messung eines Bauteils aus PVDC mit der Länge 100 mm ohne Korrektur mit einem zusätzlichen Messfehler von 208 µm zu rechnen ist. In der Praxis ist mit etwas anderen Abweichungen zu rechnen, da meist die Maßstabstemperaturen und die Werkstücktemperatur verschieden sind. Dies ändert aber nichts daran, dass die Abweichungen unakzeptabel groß sind.

Die Längenausdehnungen von Maßstab und Werkstück können sich kompensieren, wenn Maßstab und Werkstück aus dem gleichen Material sind, wie z.B. bei der Paa-



Bild 2: ScopeCheck 300/200/200 oder 400/200/200 – fertigungsnahes Messen auf einem neuen Leistungsniveau in kleineren Messbereichen

DIE AUTOREN

Dipl.-Ing. (FH) Delfe Feger,
 Dipl.-Ing. (FH) Hans Joachim Neumann, Werth
 Messtechnik, Giessen

Messlänge: 100 mm Maßstäbe: Stahl Gleiche Temperatur		20°C	25°C	30°C	35°C
		Temperatur			
Werkstoff	Ausdehnungskoeffizient $\alpha \cdot 10^{-6}/K$	Mittlere systematische Längenmessabweichung $\Delta L \mu m$			
PVDC	150	0	69,3	138,5	207,8
Polyamid	100	0	44,2	88,5	132,8
Aluminium	24	0	6,3	12,5	18,8
Stahl	11,5	0	0	0	0

Tab. 1: Temperaturabhängige, systematische Längenmessabweichung ohne Korrektur bei gleicher Temperatur an Werkstück und Maßstäben

Stahl – Stahl (s. Tabelle 1). In der Praxis trifft dies aber meist nicht zu, d. h. die Ausdehnungskoeffizienten sind verschieden. Als Schlussfolgerung kann man ableiten, dass eine entsprechende Korrektur des thermischen Einflusses zwingend erforderlich ist.

Fertigungstaugliche Messgeräte – integrierte Temperaturkompensation ist erforderlich

Die Gerätebaureihe ScopeCheck (Bilder 2,3) bietet eine solide Konstruktionsbasis aus Hartgestein mit zum Patent angemeldeten, gekapselten Führungen.

Die Geräte sind modular konzipiert und können somit exakt auf die Forderungen der Anwender angepasst werden. Zum Ausstattungsprogramm gehören schaltende und messende Tastsysteme sowie Laser- und Bildverarbeitungssensoren. Die Geräte gestatten sowohl einfache manuelle Messungen als auch CNC-gesteuertes Messen mit 2D und 3D CAD Datensätzen.

Mit dem Werth TomoScope (Bild 4) ist es der Werth Messtechnik GmbH gelungen, weltweit erstmalig die Röntgen-Computer-Tomografie in ein Multisensor-Koordina-

tenmessgerät zu integrieren. Die Anwender sind damit in der Lage, eine zerstörungsfreie Komplettmessung bei gleichzeitiger Rückführbarkeit der Messergebnisse auf nationale Standards zu realisieren. Durch die kompakte Konstruktion in Granit und die Ausführung als Vollschutzgerät, sowie die einfache Bedienung, kann das TomoScope direkt ohne weitere Vorkehrungen eingesetzt werden. Die Zeitersparnis bei der Erstbemusterung von Kunststoffteilen von derzeit einigen Tagen auf wenige Stunden, bietet den Anwendern einen erheblichen Wettbewerbsvorteil.

Alle Geräte der „Scope“ Baureihe wurden exakt auf die Bedürfnisse im Fertigungseinsatz abgestimmt und können unter Berücksichtigung der Ausdehnungskoeffizienten von Gerät und Werkstück, der Temperatur des Werkstücks und der entsprechenden Temperaturen an den Maßstäben eine Korrektur berechnen. Die Temperaturen an den Maßstäben werden durch Sensoren gemessen und so die Wärmedehnung der Maßstäbe automatisch berücksichtigt. Gleichfalls wird die Umgebungstemperatur in der Nähe des Werkstücks oder optional durch Kontaktthermometer gemessen und berücksichtigt. Für jeden Messwert wird der längenabhängige Korrekturwert $-\Delta L$ nach obiger Formel berechnet und die Messergebnisse entsprechend korrigiert. Diese Korrektur gilt

natürlich auch bei raumsträger Anordnung der Messlänge, da in allen drei Achsen des Messvolumens korrigiert wird und somit jeweils die projizierten Anteile Berücksichtigung finden.

Nötige Randbedingungen sind die Angabe eines möglichst genauen Wertes für den Ausdehnungskoeffizienten des Werkstückes und die Einhaltung der räumlichen ($_{K/m}$) und zeitlichen ($_{K/h}$) Temperaturgradienten nach den Vorgaben des Geräteherstellers. Sollte der Ausdehnungskoeffizient des Werkstücks nicht bzw. nur unzureichend bekannt sein, schafft selbst eine Schätzung des Wertes noch eine erhebliche Reduzierung der Längenmessabweichung. Dies gilt insbesondere bei großen Messbereichen (Bild 5).

Messgeräte für höhere Genauigkeitsanforderungen – Temperaturkompensation reduziert den Aufwand für den Messraum

Multisensor-Koordinatenmessgeräte der Baureihe VideoCheck (Bild 6) zeichnen sich durch eine präzise luftgelagerte Mechanik aus. Die Längenmessabweichung solcher Geräte ist typischerweise mit $E1 = (0,75 + L/500)\mu m$ spezifiziert. Mit diesen Geräten werden verschiedenste genauere Fertigungsteile gemessen. Hierbei ist zu bedenken, dass Toleranzen von einigen wenigen $10 \mu m$ in einer modernen Fertigung schon selbstverständlich sind.

Um die Messprozesseignung in solchen Dimensionen zu gewährleisten, ist die oben genannte Geräteklasse erforderlich. Neben Bildverarbeitung, messenden und schaltenden Tastsystemen, stehen verschiedene andere spezielle Sensoren zur Verfügung, um die jeweilige Messaufgabe komplett zu lösen.

Um oben genannte Spezifikation zu erreichen ist es erforderlich, das Gerät klimatisiert aufzustellen und die zu messenden Teile vor der Messung an die herrschende Temperatur anzugleichen. In normalen Messräumen kann aber eine Abweichung von einigen Kelvin verbleiben. Je nach Ausstattung der Messräume, insbesondere hinsichtlich zeitlicher und örtlicher Temperaturkonstanz, reicht dies nicht vollständig aus. Durch Einsatz einer hochpräzisen Temperaturkompensation, bei der die Teilettemperatur unter Umständen durch mehrere Sensoren exakt bestimmt werden muss, kann auch bei solchen Messräumen eine geringe Messunsicherheit erreicht werden. Die hierfür zum Einsatz kommende Hardware muss allerdings höchsten Anforderungen hinsichtlich Auflösung und Genauigkeit entsprechen. Es ist sonst möglich, dass durch die Temperaturkompensa-



Bild 3: ScopeCheck 400/400/150 oder 400/400/300 – fertigungsnahes Messen mit Messbereichen ab 400 Millimetern in X- und Y-Achse



Bild 4: TomoScope – Computer-Tomografie im Multisensorkoordinatenmessgerät – vollständig und genau messen



Bild 5: ScopeCheck MB 1500 – für große und schwere Werkstücke mit Messbereichen bis 3000mm in der X-Achse



Bild 6: VideoCheck IP 600/650 – Multisensorik für anspruchsvolle Messaufgaben



Bild 8: VideoCheck V HA 400 – für rotationssymmetrische Präzisionsteile (Werkzeuge und Wellen)

tion größere Abweichungen verursacht werden, als man hier eigentlich beheben will. Eine unbedingte Voraussetzung ist das sorgfältige Kontaktieren der Temperatursensoren am Werkstück. Daher kann für die vorgenannten Anwendungen ein ausreichend stabiler Klimaraum deutlich vorteilhafter sein.

Höchstgenaue Messgeräte für den Sub-Mikrometerbereich – stabile Temperaturbedingungen sind Voraussetzung

Die Geräte VideoCheck HA und VideoCheck V HA (Bilder 7 und 8) sind die derzeit genauesten Multisensor-Koordinatenmessgeräte. Mit $E1 = (0,25 + L/900)\mu\text{m}$ bzw. $E1 = (0,5 + L/900)\mu\text{m}$ (bei uni- bzw. bidirektionaler Antastung) bieten diese eine bislang unerreichte Präzision für Anwendungen wie Messmittelkalibrierung, Messung von hochgenauen Fertigungsteilen, Mikrogeometrien und Werkzeuge. Ein mechanischer Aufbau aus Hartgestein mit speziellen, schwingungsarmen Luftlagern, höchste Maßstabsauflösung und konstruktive Maßnahmen gegen Hysterese garantieren hervorragende Reproduzier-

barkeiten der Messergebnisse im Bereich von 0,1 Mikrometer und kleiner. Eine „vollständige“ Korrektur geometrischer Abweichungen erfolgt auf der Grundlage höchstgenauer durch die Physikalisch Technische Bundesanstalt kalibrierter Normale. Die Geräte sind modular konzipiert und können exakt auf die Forderungen der Anwender abgestimmt werden. Bildverarbeitung, Laser und der weltweit kleinste (Tastkugeldurchmesser bis 10 μm) und genaueste (Antastabweichung 0,1 μm) taktile Sensor „Werth Fasertaster – WFP“ gehören zur Sensorausstattung. Trotz konstruktiver Gegenmaßnahmen können die extremen Spezifikationen dieser Geräte nur bei guten thermischen Umgebungsbedingungen gewährleistet werden. Selbst kleinste örtliche

oder zeitliche Temperaturschwankungen würden die Genauigkeit der Messergebnisse erheblich beeinträchtigen. Eine messtechnische Erfassung solcher Temperaturschwankungen kleiner 0,1 K wäre an vielen Positionen im Koordinatenmessgerät und insbesondere am und im Werkstück nicht realisierbar. Auch sind die Fehlereinflüsse der Temperaturmessung selbst, wie Auflösung und Kalibrierunsicherheit, Wärmeleitung an der Kontaktstelle und Restfehler durch nicht erfasste Temperaturgradienten zu groß. Eine Temperaturkompensation ist bei dieser Geräteklasse deshalb wenig sinnvoll. Es ist eine Temperierung der Teile und des Messgerätes im 1/10 Kelvin Bereich erforderlich.

Ergebnis der Temperaturkorrektur – Vergleich korrigiert gegen nicht korrigiert

Wird eine Temperaturkompensation für erforderlich gehalten (Fertigungsbetrieb oder „normaler“ Klimaraum) kann nicht davon ausgegangen werden, dass nun keine Temperatureinflüsse mehr vorliegen. Trotz der Korrektur des thermischen Einflusses verbleibt eine restliche Messunsicherheit, die umso geringer ist, je besser der Ausdehnungskoeffizient des Werkstücks bekannt

Grenzabweichung der Temperaturmessung K	0,2			0,5			1		
	2%	5%	10%	2%	5%	10%	2%	5%	10%
Grenzabweichung des Ausdehnungskoeffizienten 10 ⁻⁶ /K	3	7,5	15	3	7,5	15	3	7,5	15
Verbleibende, thermisch bedingte, erweiterte Messunsicherheit μm	6,3	13,5	26	10	16	27	18	22	31

Tabelle 2: Verbleibende thermisch bedingte Messunsicherheit mit Temperaturkorrektur



Bild 7: VideoCheck HA 400/400/200 – höchste Präzision durch intelligente Konstruktionsprinzipien

ist und je genauer die Temperatur gemessen wird.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Ohne Korrektur entsteht (s. Tabelle 1) bei 35°C an einem 100 mm langen PVDC-Werkstück ein Messfehler von 208 µm. Mit Korrektur reduziert sich der Temperatureinfluss wie in der Tabelle 2 für unterschiedliche Grenzabweichungen dargestellt ist [1].

Unter „Grenzabweichung“ ist die maximal mögliche (geschätzte) Abweichung vom wahren Wert zu verstehen. Er wird als rechteckverteilt angenommen. Die so genannte „erweiterte Messunsicherheit“ ist nach der internationalen Normung die mit

dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ multiplizierte Standardabweichung und gilt somit für einen Vertrauensbereich von 95 %.

Für das gewählte Messbeispiel sei davon ausgegangen, dass die Temperatur mit einer Grenzabweichung von 0,5 K gemessen werden kann. Der Ausdehnungskoeffizient des Werkstücks sei mit einer max. Abweichung von 5 % bekannt. Laut Tabelle 2 verbleibt damit eine Messunsicherheit von 16 µm. Das sind hier nur noch 7,7 % des ursprünglichen Fehlers von 207,8 µm ohne Korrektur.

Tipps für die Praxis

Die Temperaturkorrektur wird sicherer und wirksamer wenn folgende Maßnahmen getroffen werden:

- Möglichst nur geringe Temperaturänderungen zulassen
- Zugluft vermeiden
- Bei schnellen Temperaturänderungen Geräte umhausen
- Wärmequellen konstant in Betrieb halten
- Geräte mindestens im Abstand von 1 m zu den Wänden installieren
- Fußboden thermisch isolieren
- Keine direkte Sonneneinstrahlung zulassen
- Das Messobjekt sollte die Umgebungstemperatur angenommen haben
- Berührung der Teile mit den Händen vermeiden bzw. Handschuhe tragen

- Konstante Temperatur während eines Messzyklus sicherstellen
- Bei langen Messzyklen, Driftkontrolle durch Überprüfung des Referenzkoordinatensystems durchführen

Durch die genannten Maßnahmen und den Einsatz von Messgeräten mit Temperaturkorrektur können Koordinatenmessgeräte in der Fertigung auch unter schwierigen Temperaturbedingungen erfolgreich eingesetzt werden. Ohne eine solche Korrektur sind die Messergebnisse mit nicht vernachlässigbaren Fehlern behaftet. Diese können u. U. wesentlich größer als die Fertigungstoleranzen sein, die eigentlich überprüft werden sollen.

Literatur:

[1] Neumann, H. J. „Lineare thermische Einflüsse – Ein Leitfaden für den praktischen Einsatz“, S. 283 – 304, aus Neumann, H. J. „Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten“, expert verlag, 2te Auflage, 2005.

[2] Christoph R., Neumann H.J., Multisensor-Koordinatenmesstechnik – Produktionsnahe optisch-taktile Maß-, Form- und Lagebestimmung, Verlag Moderne Industrie, ISBN 3-478-93290-4.

Wert Messtechnik, Gießen
www.werthmesstechnik.de

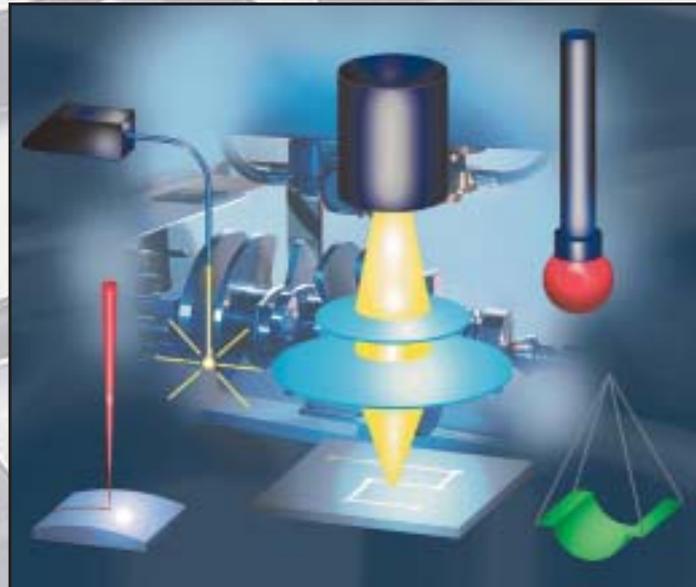
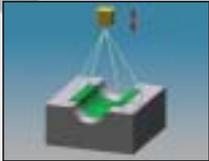
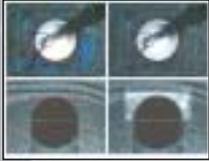
Werth Multisensor- Koordinatenmesstechnik



Werth Messtechnik GmbH

Siemensstraße 19
35394 Gießen
Telefon +49 (0) 6 41 / 79 38-0
Telefax +49 (0) 6 41 / 7 51 01
mail@werthmesstechnik.de
www.werthmesstechnik.de

„Für alle Fälle“ Werth Multisensorik



Werth Bildverarbeitung:

Echte Kontur-Bildverarbeitung für eine sichere Kantenantastung

Werth 3D-Patch (Patentanmeldung):

Der 3D-Oberflächensensor für kleinste Merkmale

Werth Röntgen-Tomografie:

Vollständiges Erfassen des Werkstücks in einem Messvorgang

Werth Lasertaster WLP (Patent):

Hochgenaues Oberflächen-Scanning

Werth Fast Laser Probe FLP:

Schnelles berührungsloses Scannen von dreidimensionalen Geometrien

Werth Laser Liniensensor LLP:

Schnelle optische Erfassung von Freiformflächen auch an großen Werkstücken

Werth Chromatic Focus Probe CFP:

Hochgenaues Messen an stark reflektierenden Oberflächen (Spiegel, Linsen, ...)

Mechanisch schaltende- und messende Tastsysteme:

Renishaw-Programm komplett integriert

Werth Fasertaster WFP (Patent):

Weltweit kleinster (min. Tastkugeldurchmesser 10 µm) und genauester Taster

Werth Contour Probe WCP (Patentanmeldung):

Der Tastschnittsensor für Profil- und Rauheitsmessung