

MIKROMETERGENAUES MESSEN GROSSER, KOMPLEXER GEOMETRIEN

Viele Wege führen zum Ergebnis

Durch komplizierte Geometrien oder große Bauteilabmessungen ist die mikrometergenaue Vermessung von hypoidverzahnten Getriebebauteilen oder Schneidwerkzeugen für Kurbelwellen schwierig. Den Konflikt zwischen sehr hoher Messauflösung und großen Bauteilabmessungen löst das Pforzheimer Unternehmen EHR in seinen Präzisionsmessmaschinen durch Kombinationen aus hochauflösender, berührungsloser Sensorik mit präziser Mechanik. So können Teilbereiche genau angefahren, vermessen und alle Teilmessungen zu einer mikrometergenauen Gesamtmessung zusammengeführt werden.

Um mikrometergenau vermessen zu können, sind kleine Messfelder nötig. Dies gilt für alle Messsysteme. Standardmäßige Werkzeuggestellgeräte haben telezentrische Messaufbauten mit Messfeldern in der Größenordnung von etwa 1 cm². Laserlinien-Triangulationsgeräte, die etwa 10 µm Auflösung aufweisen, haben einen Messbereich von ungefähr 2 cm. Bei anderen Sensoren sieht es ähnlich aus. Damit können Wendeschneitplatten, Bohrer, Fräser und andere Werkzeuge mit ähnlich kleinen Dimensionen vermessen werden, aber keine Bauteile oder Werkzeuge, die einige Dezimeter groß sind. Die telezentrischen Messsysteme der Werkzeugin-

stellgeräte haben darüber hinaus den Nachteil, dass sich nur Außenkonturen erfassen lassen.

Mechanische Basis der Präzisionsmessmaschine

Um große Messbereiche erfassen zu können, sind Mechaniken nötig, die das kleine Messfeld einer hochgenauen Sensorik zu einem Messort verfahren. Da die Positioniergenauigkeit einer reinen Mechanik viel zu ungenau ist, muss diese von einem inkrementalen Wegmesssystem bestimmt werden. Nur in dieser Kombination ist ein hochgenaues ▷



Bild 1. Die Präzisionsmessmaschine wurde in eine vollautomatische Produktionszelle integriert.



Bild 2. Auf dieser Präzisionsmessmaschine werden Synchronringe halbautomatisch vermessen.

Gesamtmesssystem über große Distanzen möglich.

Solche wegmessenden Mechaniken werden standardmäßig in Werkzeuggestellgeräten und Koordinatenmessmaschinen eingesetzt. Daher ist es naheliegend, solche Mechaniken mit hochgenauer Sensorik zu bestücken.

Gute Erfahrungen machte die EHR GmbH aus Pforzheim mit den Basisaufbauten von Werkzeuggestellgeräten des Schorndorfer Unternehmens Kelch mit je einer horizontalen und vertikalen verfahrbaren Linearachse sowie einer Rotationsachse. Verfahrwege, Positioniergenauigkeit, Stabilität des Grundgestells und Aufnahmen für schwere Messobjekte prädestinieren diese Mechanik für viele Lösungen, die bereits von EHR realisiert wurden (Bild 1). Die vertikale Rotationsachse ist mit einem SK-50-Kegel-Einsatz bestückt, der variabel mit verschiedenen Spann- oder Greifsystemen versehen werden kann. Alternativ können auch Einstellgeräte mit seitlicher horizontaler Rotationsachse für große und schwere Werkzeuge, zum Beispiel Fräswerkzeuge für Kurbelwellen, eingesetzt werden.

Durch die beiden Linearachsen und die Rotationsachse wird der Raum zylinderförmig aufgespannt. Das erlaubt insbesondere die Vermessung von zylinderförmigen oder rotationssymmetrischen Bau-

teilen. Beispiele hierfür sind Getriebeteile (zum Beispiel Zahnräder und -wellen mit verschiedenen Verzahnungstypen, Schiebemuffen, Synchronringe) und Kugellager sowie deren Lagerschalen, Flansche, Gewinde usw. Mit der zur Verfügung stehenden Messfläche lassen sich auch flächige Objekte abfahren, bis die gesamte Fläche inspiziert oder vermessen ist. Für ein kompliziert aufgebautes und schlecht zugängliches Bauteil können zusätzliche Achsen angebaut werden, die entweder die Sensorik oder das Bauteil entsprechend schwenken.

Sensorik mit Vor- und Nachteilen

Welche Sensorik ist gemeint? Im Grunde jede Art von Sensor, der genügend Messdaten mit einer ausreichenden Wiederholgenauigkeit im Mikrometerbereich liefert. EHR setzt ausschließlich auf optische Sensoren, die berührungslos (und damit insitu) funktionieren. Die beiden gängigsten Sensorikprinzipien sind telezentrische Messanordnungen und die Laser-Triangulation (Bild 2). Weitere optische Messmethoden sind konfokal-chromatische Abstandssensoren, Weißlichtinterferometrie, Streifenlichtprojektion und Laser-Mikrometer. Induktive Abstandssensoren und taktile Sensoren könnten

auch eingesetzt werden, sollen hier aber nicht betrachtet werden.

Im Folgenden werden die optischen Messmethoden hinsichtlich Messprinzip, Genauigkeit und Einsatzmöglichkeiten diskutiert.

Telezentrie: Hierunter versteht man den achsparallelen Hauptstrahlenverlauf, das heißt einen Öffnungswinkel von 0° , meistens von Objektiven und Beleuchtungen. Vorteil der telezentrischen Objektiv ist, dass sich die Größe der Objekte im Telezentriebereich (dies ist in etwa der Schärfentiefebereich des Objektivs) nicht ändert. Daher werden diese Objektive häufig als Messobjektive eingesetzt, zum Beispiel bei Werkzeuggestellgeräten. Hierbei leuchtet eine telezentrische Beleuchtung direkt in ein telezentrisches Objektiv (mit gemeinsamer optischer Achse), und das Messobjekt befindet sich zwischen beiden.

Der große Vorteil dieser Anordnung ist, dass sich auch spiegelnde Objekte vermessen lassen, da am Objekt reflektierte Strahlen nicht mehr abgebildet werden.

Nachteilig ist, dass erstens lediglich Außenkontouren erfasst werden können und zweitens die Objektivdurchmesser etwa doppelt so groß sind wie das Bildfeld beziehungsweise der Messbereich.

Die Messgenauigkeit hängt im Wesentlichen von der Bildfeldgröße, der Ka-

meraauflösung und der softwareseitigen Subpixelinterpolation ab. Typische Werkzeugeinstellgeräte mit einer Bildfeldgröße von knapp 1 cm^2 und einer 1-Megapixel-Kamera erreichen Messungenauigkeiten von einigen Mikrometern.

Bei applikationsspezifischer Anpassung können auch größere Bildfeldgrößen realisiert und höher auflösende Kameras eingesetzt werden. Zusätzlich lassen sich bei Bedarf mehrere telezentrische Anordnungen unterbringen.

Laser-Triangulation: Lichtschnittverfahren, bei dem eine gerade Laserlinie auf ein Objekt projiziert und unter einem bestimmten Winkel (Triangulationswinkel) beispielsweise von einer Kamera aufgenommen wird. Die Abweichung der Geradheit der Laserlinie im Kamerabild ist ein Maß für die Objekthöhe entlang der Linie. Ein Scan aus vielen Linien ergibt ein Höhenbild (Oberflächenprofil) in X, Y und Z.

Die Messungenauigkeit hängt im Wesentlichen von der Linienlänge und der Kameraauflösung ab. Bei einer Linienlänge von etwa 20 mm und einer VGA-auflösenden Kamera erhält man eine Messungenauigkeit in der Größenordnung von $10 \mu\text{m}$. Durch geeignete Softwareinterpolation kommt man auf Messwiederholgenauigkeiten um die $1 \mu\text{m}$.

Die Laser-Triangulation ist ein sehr gängiges Messverfahren, das robust und kostengünstig ist. Allerdings ist es ein scannendes Verfahren, sodass entweder der Sensor oder das Messobjekt verfahren werden muss. Problematisch (optisch nicht gutmütig) können spiegelnde oder halbtransparente Oberflächen sein.

Streifenlichtprojektion: ebenfalls ein Triangulationsverfahren, bei dem viele parallele Linien auf das Messobjekt projiziert und diese unter einem bestimmten Winkel von einer Kamera aufgenommen und analysiert werden. Man unterscheidet zwischen dem codierten Lichtansatz (diskrete Hell-Dunkel-Linien, die Bild für Bild enger zusammenrücken) und dem Phasenshiftverfahren (Streifen mit sinusförmiger Helligkeitsmodulation, die seitlich um Viertelperioden verschoben werden). Um daraus ein Höhenbild zu errechnen, sind mehrere Bildaufnahmen mit geändertem Streifenmuster nötig. Dieses Verfahren liefert direkt 3D-Daten ohne Scanvorrichtung. Allerdings ist ein Streifenprojektor notwendig.

Die Messungenauigkeit hängt auch hier im Wesentlichen von der Bildfeldgröße und der Kameraauflösung ab. Bei ei-

ner Bildfeldgröße von etwa 1 cm^2 und einer 1-Megapixel-Kamera sind Messungenauigkeiten von etwa $10 \mu\text{m}$ typisch.

Konfokal-chromatische Abstandssensoren: Hier wird der Farbfehler von Linsen (chromatische Aberration) genutzt, indem weißes Licht bei der Fokussierung auf das Messobjekt so aufgespalten wird, dass für einen Abstand nur eine Farbe scharf abgebildet ist. Die Farbe des von dem Messpunkt (Durchmesser circa 10 bis $100 \mu\text{m}$) gestreuten Lichts wird gemessen und einem Abstand zugeordnet. Dieses Messverfahren ist hochpräzise und liefert Messungenauigkeiten im Submikrometerbereich, selbst bei spiegelnden Oberflächen. Durch die konfokale Anordnung von Lichtquellen- und Detektionsoptik gibt es keine Abschattung wie bei Triangulationsmesssystemen. Dieses Messverfahren ist bisher nur punktuell möglich.

Weißlichtinterferometer: Weißes Licht wird über zwei Wege auf das Messobjekt gelenkt. Bei bestimmten Höhen kommt es zu Überlagerungseffekten (Interferenzen) des Lichts, die von einer Kamera aufgenommen werden. Für diese Höhen ist der Abstand bestimmt. Alle Höhen des Messobjekts erhält man, wenn es in der Höhe verfahren und jeweils ein Bild aufgenommen wird. Aus allen Bildern wird dann ein Höhenbild zusammengesetzt.

Die Messungenauigkeit liegt im Submikrometerbereich bei Messfeldern bis 25 cm^2 . Es handelt sich um ein scannendes Verfahren, bei dem mehrere Bilder aufgenommen werden. Nachteilig ist der große und nicht leichte Aufbau, der auch eine begrenzte Robustheit aufweist.

Steuerung und Auswertung für umfassende Systeme

Zentraler Bestandteil der Messanlage ist die Software, die die Einzelkomponenten steuert. Statt einer SPS setzt EHR im Allgemeinen einen oder mehrere IPCs ein. Basis der Steuerungssoftware ist der EHR-eigene Systemkern Tivis, der folgende Aufgaben übernimmt:

- Aufnahme der Messwerte verschiedener Sensoren oder Kameras,
- Auswertung und Interpretation der Messwerte,
- Steuerung der Mechanik inklusive Auslesen der inkrementellen Positionsmessung,
- Synchronisierung aller Messdaten,
- Bildverarbeitung, ▶

- Kommunikation zu übergeordneten Steuerungen,
- Kommunikation und/oder Steuerung von Robotern oder anderen Mechaniken,
- Archivierung von Messwerten oder sonstigen Daten,
- Paßwortverwaltung,
- anwenderspezifische Aufgaben.

Für die Auswertung der Messdaten ist die haus eigene Bildverarbeitungsbibliothek in Tivis integriert. Zusätzlich stehen noch die Bildverarbeitungstools der Bibliothek Halcon von MVTech, München, zur Verfügung.

Beispiele für Applikationen

Besonders Kurbelwellenfräser sind ein anschauliches Beispiel für die mikrometergenaue Vermessung sehr großer Objekte. Hier müssen Dutzende kleiner Wendschneidplatten positionsvermessen und gegebenenfalls nachgerichtet werden. Dazu wurde ein stabiler Arm so an die z-Achse eines Werkzeugvoreinstellgeräts montiert, dass der Sensor, hier ein Laser-Scanner von Micro-Epsilon, Ortenburg, zentral im Werkzeug positioniert ist und von hier aus die einzelnen Wendschneidplatten exakt angefahren werden können.

Verzahnungen von Zahnrädern werden häufig taktil durch „Auskugeln“ vermessen (Rollenmaß), indem die Eindringtiefe einer Kugel zwischen den Zahnflanken gemessen wird. Dieses Verfahren ist aufwendig, da langwierig. Mit den Algorithmen von EHR werden die Zahnräder „digital ausgekugelt“: Ein Laser-Scanner

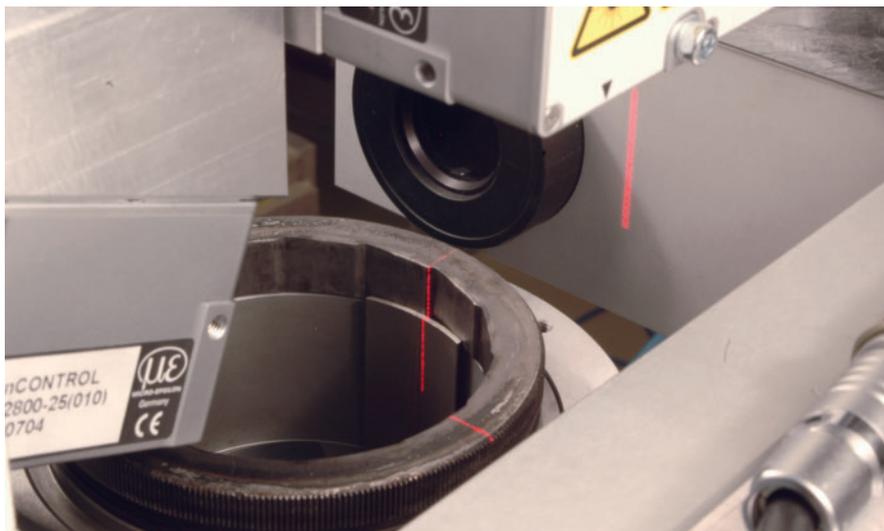


Bild 3. Sensoreinheit mit zwei Lasertriangulationssensoren und einer telezentrischen Messanordnung zur Vermessung von Getriebeaußenringen

erfasst deren 3D-Kontur, in die dann Kugeln desselben Radius hineingerechnet werden. Auf diese Weise sind beide Messmethoden genau vergleichbar, mit dem großen Vorteil, diese Messmethode automatisieren und somit frei von menschlichen Fehlern durchführen zu können.

Mit denselben Messdaten können meist auch weitere Messwerte ermittelt werden, wie zum Beispiel Parallelitäten und Planläufe von Flächen, Höhen, Winkel, Durchmesser, Rundheiten und sonstige bauteilbedingte Besonderheiten (Bild 3).

Schlecht zugängliche Innenbereiche, die mit Standard-Triangulationssensoren nicht erreichbar sind, werden mit Spiegelkonstruktionen (oder Prismen) und getrennten Kamera-Laser-Kompo-

nenten erfasst. Hier werden dann alle wesentlichen Parameter applikationsspezifisch angepasst wie Arbeitsabstand und Bildbereich der Kamera, Triangulationsswinkel etc. Nachteilig bei Spiegelkonstruktionen im Produktionsprozess ist, dass sie meist eintauchen müssen. Dies ist jedoch kein Problem, wenn es bei der Konstruktion einer Gesamtanlage rechtzeitig berücksichtigt wurde. □

Dr. Helge Moritz

► **EHR Ingenieurgesellschaft mbH**
T 07231 9731-0
vision@ehr.de
www.ehr.de

www.qm-infocenter.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **QZ110031**