

Einführung eines digitalen Photogrammetrie-Systems

in der Achsfertigung bei der DaimlerChrysler AG im Werk Hamburg

In diesem Beitrag wird die Einführung eines digitalen Photogrammetrie-Systems zur Qualitätskontrolle in der Automobil-Achsfertigung vorgestellt. In den Untersuchungen, die im Rahmen einer Diplomarbeit in Zusammenarbeit zwischen der DaimlerChrysler AG im Werk Hamburg und dem Fachbereich Geomatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg durchgeführt wurden, zeigte es sich, dass das Photogrammetrie-System gegenüber dem eingesetzten Koordinatenmessgeräte hinsichtlich Genauigkeit, Kosten und Zeitaufwand eine echte Alternative oder Ergänzung für Aufgaben in der Qualitätskontrolle darstellt. Zusätzlich bietet das Photogrammetrie-System eine höhere Mobilität und Flexibilität für weitere Messaufgaben und ein noch nicht ausgeschöpftes Optimierungspotenzial.

1 Einleitung

In industriellen Produktionsprozessen nimmt die Qualitätssicherung eine immer wichtiger werdende Stellung ein. Zur Gewährleistung einer nachhaltigen Produktqualität werden seit langem taktil messende Koordinatenmessgeräte (KMG) eingesetzt. Seit einiger Zeit ist aber ein Umbruch in der 3D-Koordinatenmesstechnik zu erkennen. Nicht zuletzt durch die steigende Leistungsfähigkeit der heutigen Computer sowie der digitalen Bildverarbeitung werden zunehmend digitale Photogrammetrie-Systeme eingesetzt. Diese Systeme bieten einige Vorteile gegenüber den Koordinatenmessgeräten. Das sind:

- Mobilität und Flexibilität der Systeme
- hohe Variabilität in der Größe der Messobjekte
- hohe Messgenauigkeiten
- berührungslose Messungen
- flächenhafte Messungen
- kurze Messzeiten
- geringe Investitionskosten
- keine verschleißbedingten Folgekosten.

Im Rahmen einer Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der HAW-Hamburg wurde der Einsatz des digitalen Photo-

grammetrie-Systems TRITOP (Bild 1) der Firma GOM als alternatives Messsystem für die Qualitätskontrolle der Hinterschleife der A-Klasse (Bild 2) für die Daimler-Chrysler AG im Werk Hamburg untersucht. Zielsetzung dabei war eine schnellere und kostengünstigere Durchführung der Messungen im Vergleich zum derzeitig verwendeten KMG Zeiss Carmet (Bild 3).

2 Photogrammetrie-System TRITOP

Das Photogrammetrie-System TRITOP (Bild 1) der Firma GOM – Gesellschaft für Optische Messtechnik – ist ein mobiles optisches Messsystem zur Bestimmung dreidimensionaler Objektkoordinaten mit minimalem Hardwareaufwand.

Zum System gehört die hochauflösende digitale Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S2 Pro. Der CCD-Chip der FinePix



Bild 1: Photogrammetrie-System TRITOP

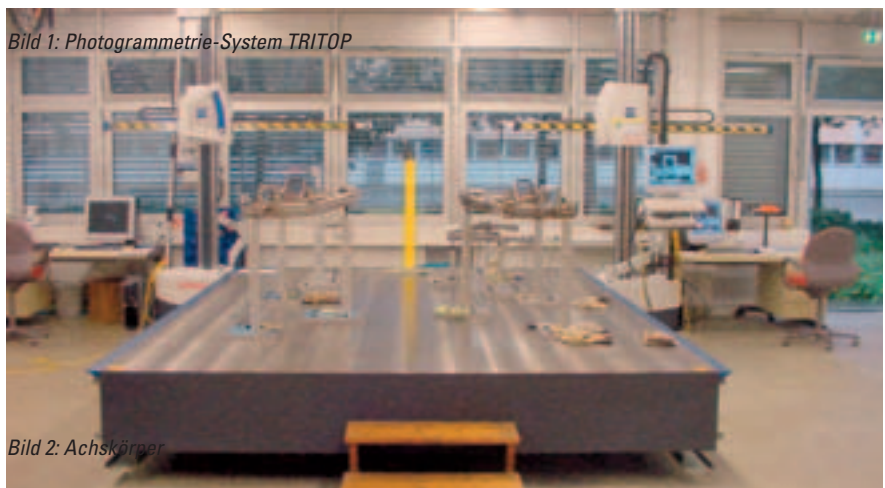


Bild 2: Achskörper

S2 Pro ermöglicht mit einer Größe von 23,3 x 15,6 mm eine maximale Auflösung von 4.256 x 2.848 Pixel (interpoliert). Das mit der Kamera verwendete 24 mm Weitwinkelobjektiv hat einem maximalen Öffnungswinkel von 84 Grad. Auf dem Objektiv ist ein Ringblitz montiert. Dieser gewährleistet eine optimale Belichtung des Messobjektes.

Weiterer Bestandteil des Photogrammetrie-Systems sind zwei Stahlmaßstäbe (Bild 4). Diese sind für eine exakte Skalierung der Bilddaten notwendig und werden zusammen mit dem Objekt aufgenommen. Für die automatische Ausgleichung der Bildverbände wurden 38 codierte Marken am bzw. um das Objekt herum angebracht. Für die Signalisierung der objektbeschreibenden Merkmale des Achskörpers (Kreislöcher, Ebenen) wurden Hubbs-Targets, sowie einfache Klebe- bzw. Magnetmarken eingesetzt. Weiterhin wurden speziell für die Messung von Kreislöchern entwickelte Kugeltargets (Bild 4) der Firma GOM verwendet.

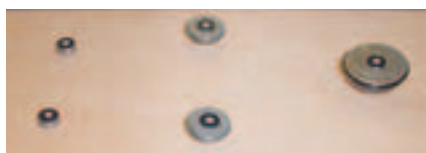


Bild 4: Stahlmaßstäbe (oben) und Kugeltargets für die Messung von Kreislöchern (unten)

Wichtigster Bestandteil des Photogrammetrie-Systems ist die Ausgleichs- und Auswertesoftware TRITOP in der Version 5.3.0-4. Diese bietet eine „Windows“-ähnliche Oberfläche, basierend auf der stabilen Linux-Plattform. TRITOP berechnet aus digitalen Bildern automatisch die Position der codierten Marken, die Positionen der Aufnahmestandpunkte und schließlich die exakten Positionen der Objektpunkte. Aus den berechneten Daten können verschiedene Geometrielemente für einen Soll-/Ist-Vergleich mit CAD-Daten erzeugt werden. Zur Dokumentation der Ergebnisse können abschließend wahlweise grafische als auch tabellarische Protokolle erstellt werden.

Die Genauigkeit des TRTOP-Systems wird von der Firma GOM durch die mittlere dreidimensionale Längenmessabweichung nach VDI/VDE 2634 angegeben. Bezogen auf die maximale Ausdehnung der zu vermessenden Achskörper beträgt die mittlere Längenmessunsicherheit $U = \pm 34 \mu\text{m}$.

3 Vorbereitung der Messung

In Vorbereitung auf die photogrammetrische Messung der Achskörper war es notwendig, ein Aufnahmegestell (Bild 5) für die Objekte zu konstruieren. Das Gestell ermöglicht die optimale Aufnahmeposition, um alle objektbeschreibenden Merkmale an Ober- und Unterseite der Achskörper abbilden zu können.

Um die Signalisierung der relevanten Merkmale realisieren zu können, wurden zahlreiche Reduzieradapter (Bild 6) angefertigt, welche mit uncodierten Zielmarken versehen werden. Die Reduzieradapter sollten möglichst schnell und einfach an der Achse anzubringen sein, um den Zeitbedarf der Signalisierung so gering wie möglich zu halten. Aufgrund relativ hoher Toleranzen bei den Lochdurchmessern und der somit entstehenden Streuung wurde der Durchmesser der Adapter so klein gewählt, dass sie problemlos an jeder Achse angebracht werden können.

Um eine zeitaufwändige manuelle Auswertung zu vermeiden, ist es möglich, diese mit Hilfe von Makros zu automatisieren. Alle für die Achsvermessung notwendigen Arbeitsschritte der Auswertung wurden daher in mehreren Makros aufgezeichnet. Dadurch wird der Zeitaufwand der Auswertung auf ein Minimum reduziert. Als Ergebnis der photogrammetrischen Auswertung wird ein vierseitiges grafisches Messprotokoll erzeugt. Der Aufbau der Protokollseiten ist dem Aufbau der KMG-Protokolle angepasst.



Bild 5: Aufnahmegestell mit Achskörper

Weiterhin wurden zur Vorbereitung der Messaufgabe zahlreiche Versuchsmessungen durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Versuchsmessungen konnten die optimalen Kameraeinstellungen, die Mindestanzahl der Bilder und die optimalen Positionen der codierten Marken ermittelt werden.

4 Untersuchung der Einsatzfähigkeit

Für die Beurteilung der Einsatzfähigkeit des Photogrammetrie-Systems zur Qualitätskontrolle der Achskörper wurden die erreichten Genauigkeiten, die Wirtschaftlichkeit sowie die praktische Handhabung des Systems mit denen des verwendeten Koordinatenmessgerätes verglichen.

Zur Beurteilung der erreichten Genauigkeiten der photogrammetrischen Messung wurden zum einen zehn Wiederholungsmessungen an einem Achskörper, und zum anderen eine Serienmessung mit fünf verschiedenen Achskörpern durchgeführt. Als Ergebnis konnte für die innere Genauigkeit des TRITOP-Systems eine mittlere Messunsicherheit 2σ von $\pm 42 \mu\text{m}$ ermittelt werden. Diese liegt deutlich unter der Messunsicherheit des Vergleichsystems Zeiss Carmet (Herstellerangabe $U_3 = \pm 59 \mu\text{m}$). Zur Abschätzung der äußeren Genauigkeit wurden die ermittelten Koordinaten der zwei Systeme miteinander verglichen. Unter der Annahme, dass beide Systeme mit der gleichen Genauigkeit messen, konnte eine mittlere Messunsicherheit 2σ von $\pm 0,15 \text{ mm}$ abgeschätzt werden. In Bezug auf die einzuhaltende Fertigungstoleranz von $\pm 0,5 \text{ mm}$ liegt die Messunsicherheit deutlich unter dem Vorgabekriterium.

Um die Wirtschaftlichkeit des Photogrammetrie-Systems beurteilen zu können, müssen neben den Kosten auch der Zeit-



Bild 6: Reduzieradapter

aufwand für die durchzuführende Messung berücksichtigt werden. Der Zeitaufwand für die Qualitätskontrolle einer Achse konnte mit dem Photogrammetrie-System im Vergleich zur Messung mit dem Koordinatenmessgerät um 10 Minuten auf insgesamt 17 Minuten reduziert werden.

Die Investitionskosten für das verwendete Photogrammetrie-System betragen laut Hersteller 62.000,-. In diesen Kosten sind sämtliche Hard- und Software sowie 2 Tage Schulung enthalten. Die Kosten für spezielle Reduzieradapter und Hubbs-Targets sowie das Aufnahmegestell belaufen sich auf zusätzlich circa 5.000,-. Die Komplettkosten liegen somit mehr als 50% unter den Investitionskosten des Koordinatenmessgerätes Zeiss Carmet. Weiterhin ist zu betonen, dass bei einem Photogrammetrie-System keinerlei Folgekosten für Verschleißteile bzw. für jährliche Kalibrierung und Wartung einzuplanen sind.

5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass alle Beurteilungskriterien (Genauigkeit, Kosten und Zeitaufwand) für die Einführung des Photogrammetrie-Systems TRITOP zur Qualitätskontrolle der Achskörper sprechen. Insbesondere in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und die erreichten Genauigkeiten ist das TRITOP-System als Alterna-

tive bzw. Ergänzung zum herkömmlichen Koordinatenmessgerät in jedem Fall in Betracht zu ziehen. Zusätzlich können durch die Mobilität und die Flexibilität dieses Photogrammetrie-Systems weitere Messaufgaben durchgeführt werden, die von einem Koordinatenmessgerät nicht bewältigt werden können.

Allerdings müssen hierbei auch Kompromisse gemacht werden. Dies zeigt sich insbesondere bei der praktischen Handhabung des Photogrammetrie-Systems, denn durch manuelle Signalisierung und Freihandaufnahmen erhöht sich der Arbeitsaufwand für die Vermessung der Achskörper gegenüber der KMG-Messung. Nachteilig ist auch zu nennen, dass sich mit dem TRITOP-System speziell bei dieser Messaufgabe im Vergleich zu einem CNC-gesteuertem KMG nicht so hohe Wiederholgenauigkeiten erzielen ließen. Zusammenfassend kann jedoch für das Center Achsen, speziell für die Abteilung Achsen-Produktion A-Klasse, der Einsatz des Offline-Photogrammetrie-Systems TRITOP für die Qualitätskontrolle der Hinterachse empfohlen werden.

6 Ausblick

In Hinblick auf den Zeit- und Arbeitsaufwand bei der Qualitätskontrolle der Achse sind längst nicht alle Möglichkeiten zur

Optimierung ausgeschöpft. Folgende Modifizierungen sind vorstellbar und umsetzbar:

- Optimierung der Signalisierung der Achse
- Automatische Kameraführung durch Roboter
- Verwendung mehrerer fest installierter Kameras in einer Aufnahmezelle
- Simultane Bildübertragung während der Aufnahme durch Verwendung von Wireless Lan oder FireWire

In Zukunft könnte der Einsatz weiterer optischer 3D-Messsysteme (z.B. Online-Photogrammetrie-System, Laser Tracker) direkt in den Produktionslinien erfolgen. Durch den Einsatz solcher Systeme beim Einrichten von Vorrichtungen würden die langen Ausfallzeiten der Fertigungsanlage durch Einstell- und Optimierungsarbeiten nach dem heute üblichen „try and error“-Prinzip auf ein Minimum reduziert werden.

Autoren

Dipl.-Ing. Ralf Jacob
Prof. Thomas Kersten
Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Hamburg
Fachbereich Geomatik
Hebebrandstr. 1
22297 Hamburg
ralfjac@web.de
t.kersten@zcn.haw-hamburg.de

176 x 100