

# Endoskopische 3D-Messtechnik

Eduard Reithmeier, Steffen Matthias, Jochen Schlobohm, Christoph Ohrt, Andreas Pösch,  
Markus Kästner

*Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover*

*steffen.matthias@imr.uni-hannover.de*

In verschiedenen Anwendungen zeigt sich ein steigender Bedarf bei der quantitativen Erfassung komplexer Oberflächengeometrien mit eingeschränkter optischer bzw. mechanischer Zugänglichkeit. Aufbauend auf einem Überblick zum aktuellen Stand der Technik werden in diesem Beitrag eigene Arbeiten in der endoskopischen 3D-Messtechnik vorgestellt.

## 1 Einführung

Für eine Vielzahl von Anwendungen wird Messtechnik benötigt, die in der Lage ist filigrane Geometrien in Innenbereichen zu messen. Beispiele hierfür sind in der Zahnmedizin bei der Erfassung von Gebissen, sowie in der Industrie bei der Inspektion von Maschinen zu finden. Zur Gewinnung von Informationen zum Verschleiß interner Bauelemente, ohne eine komplexe Maschine zerlegen zu müssen, sind neuartige Messgeräte nötig.

Herkömmliche Messsysteme aus der optischen Messtechnik, wie etwa Streifenprojektionssysteme, sind aufgrund von Abschattungen nicht zur Durchführung dieser Messaufgabe geeignet.

Durch den Einsatz von Techniken aus der Endoskopie können bekannte Verfahren zur Geometriemessungen an die Messaufgabe angepasst werden.

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über den Stand der Technik in der Endoskopie vor allem in Bezug auf Messtechnik gegeben, anschließend werden Forschungsprojekte am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover vorgestellt.

## 2 Stand der Technik

Die ersten Endoskope wurden ursprünglich für medizinische Zwecke entworfen um unzugängliche Bereiche des menschlichen Körpers visuell untersuchen zu können. Inzwischen ist eine Vielzahl verschiedener Endoskoptypen auch für den industriellen Bereich verfügbar.

Diese lassen sich in vier unterschiedliche Klassen einteilen. Boreskope bestehen aus einem starren Linsensystem, welches die Bildinformation über einen Kanal transportiert. Fiberskope hingegen bestehen aus einer hohen Zahl einzelner Glasfasern (bis zu 200.000), welche zu einem Bündel zusammengefasst werden. Diese biegsamen Faserbündel ermöglichen den Transport von Bildinformationen bei Durchmessern von unter 2 mm.

Dank stetiger Miniaturisierung sind Kamerachips mit einer Grundfläche von weniger als 1 mm<sup>2</sup> verfügbar. Diese Klasse der Endoskope wird Videoskop genannt und transportiert die Bildinformation in elektrischer Form über ein Kabel. Kapselendoskope sind Kameras in Pillenform. Diese finden in erster Linie Anwendung in der Medizin.

Tabelle 1 zeigt zusammenfassend einen qualitativen Vergleich ausgewählter Eigenschaften der Endoskoptechniken [1].

Eigenschaft	Fiberskop	Videoskop	Boreskop
Biegsamkeit	o	+	-
Auflösung	o	o	+
Kontrast	o	+	+

**Tab. 1** Vergleich Endoskoptechniken.

Die beschriebenen Techniken ermöglichen eine endoskopische Bildgebung zur rein visuellen Inspektion. Für eine quantitative Angabe von Geometriedaten sind diese nicht ohne weiteres geeignet.

Endoskopische low-coherence interferometry ermöglicht, einzelne Messpunkte mit Genauigkeiten von weniger als 1 µm zu erfassen. In Verbindung mit einem Koordinatenmessgerät und hohen Samplingraten lassen sich so Oberflächen erfassen. Dieses Verfahren wird kommerziell eingesetzt, etwa in Produkten der Firma NovaCam [2].

Das MULTIPPOINT Messsystem der Firma Storz [3] setzt ein Boreskop zur Bildgebung ein. In Verbindung mit einer Optik an der Spitze, welche 49 Laserpunkte auf die zu messende Oberfläche projiziert, kann die Position dieser 49 Messpunkte durch Triangulation erfasst werden.

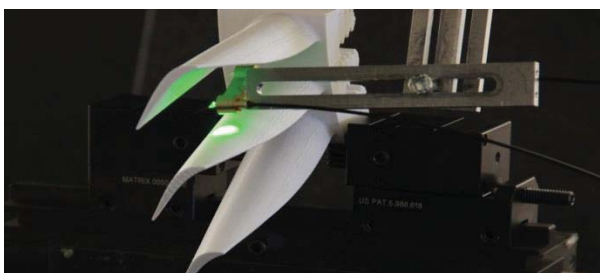
Von der Firma General Electric [4] ist das System XLG Videoprobe erhältlich, welches ein Videoskop zur Übertragung der Bildinformation einsetzt. Zwei Gitter an der Messspitze projizieren ein Muster auf die Oberfläche, anschließend kann durch eine Phasenauswertung die Geometrie bestimmt wer-

den. Wie auch für das System von Storz sind keine genaueren Angaben zur Messgenauigkeit verfügbar.

### 3 Fiberskopische Streifenprojektion

Im Rahmen des SFB/TR 73 „Blechmassivumformung“ wurde ein fiberskopisches Streifenprojektionssystem neu entwickelt [5]. Das neuartige System verwendet zwei flexible Bildleiter bestehend aus 100.000 Einzelfasern, um einen kompakten Sensorkopf an eine Basisstation anzukoppeln. Der Sensorkopf besteht aus einer Halterung für je einen Bildleiter und GRIN-Optiken für die Sender- und Detektorseite, welche in einem Triangulationswinkel zueinander angeordnet sind. In der Basisstation wird zur Erzeugung angepasster Streifenmuster eine durch einen Laser beleuchtete Mikrospiegelmatrix (DMD) eingesetzt. Die Verwendung des Lasers ermöglicht zum einen eine hohe Effizienz des Systems bei der Einkopplung in die Bildleiter mit einem Durchmesser kleiner als 2 mm, zum anderen sehr kurze Belichtungszeiten bei der Aufnahme der Phasenbilder zur Reduktion der Messzeit. Das System eignet sich dadurch zur taktzeitgerechten Prüfung in Produktionsprozessen. Der Projektor ist in der Lage, an das Messobjekt angepasste Muster zu erzeugen, um so die Messzeit durch inverse Streifenprojektion weiter zu reduzieren.

Wie in Abb. 1 zu sehen, ist das System durch die geringen Abmessungen des Sensorkopfes zur Prüfung filigraner Innengeometrien geeignet. Zudem ist es möglich, die Geometrie des Messkopfes für die gewünschte Messaufgabe weiter anzupassen. Die Standardabweichung der Geometrieabweichung zum CAD-Modell liegt bei Messungen von Innenverzahnungen aktuell im Bereich von 35 µm.



**Abb. 1** Fiberskopische Messung einer Demo-Blink im Koordinatenmessgerät.

### 4 Boreskopische Streifenprojektion

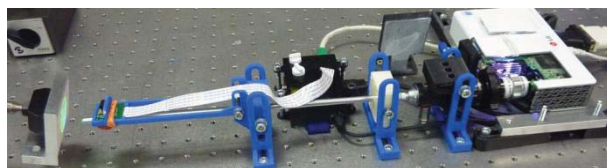
Im Rahmen des SFB 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ wird unter anderem die Regeneration von Turbinenschaufeln und Blinks (Blade Integrated Disc, Abb. 2) untersucht. Speziell die komplette Geometrieerfassung von komplexen Bauteilen wie einer Blink stellen neue Anforderungen an die Messtechnik. Wie bereits in der Einleitung angedeutet wird der Einsatz klassischer, mak-

roskopischer Streifenprojektionssysteme durch gegenseitige Abschattungen (der benachbarten Schaufeln) stark eingeschränkt. Durch die eingeschränkte Zugänglichkeit solcher Geometrien kommt es auch zu großen Winkeln zwischen der Oberflächennormalen und dem Lichtpfad. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Messunsicherheiten.



**Abb. 2** Blade Integrated Disc (Blink) (by Olivier Cleynen - CC BY-SA 3.0)

Das Messsystem besteht aus einem handelsüblichen LED-Projektor, einem Boreskop und einer Mikrokamera an der Messspitze. Das Streifenmuster wird mit dem Boreskop auf das Messobjekt projiziert. Hierdurch wird genug Kontrast für qualitativ hochwertige Messungen erhalten.



**Abb. 3** Boreskopisches Streifenprojektionssystem: Kamera (links), Boreskop (mitte), Projektor (rechts).

### 5 Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung der Projekte im Rahmen des SFB/TR 73 und SFB 871.

### Literatur

- [1] C. Ohrt, A. Pösch, M. Kästner, E. Reithmeier, Potentials of Endoscopic Fringe Projection—A Differentiation of Measuring Video-, Fiber-and Borescopy, Fringe 2013, Springer Berlin Heidelberg, 2014. S. 735-740.
- [2] NovaCam, MicroCam™ profilometers, <http://www.novacam.com/products/profilometers/>
- [3] Storz, MULTIPOINT Messsysteme, <https://www.karlstorz.com/>
- [4] General Electric, XLG3 VideoProbe, <http://www.gemcs.com/en/remote-visual-inspection/>
- [5] C. Ohrt, M. Kästner, E. Reithmeier, A. Weckmann, J. Weickmann, Optische Inspektion von Blechmassivumformteilen und-werkzeugen mit feinen Nebenformelementen. *tm-Technisches Messen Plattform für Methoden, Systeme und Anwendungen der Messtechnik*, 2012, 79. Jg., Nr. 2, S. 95-102.