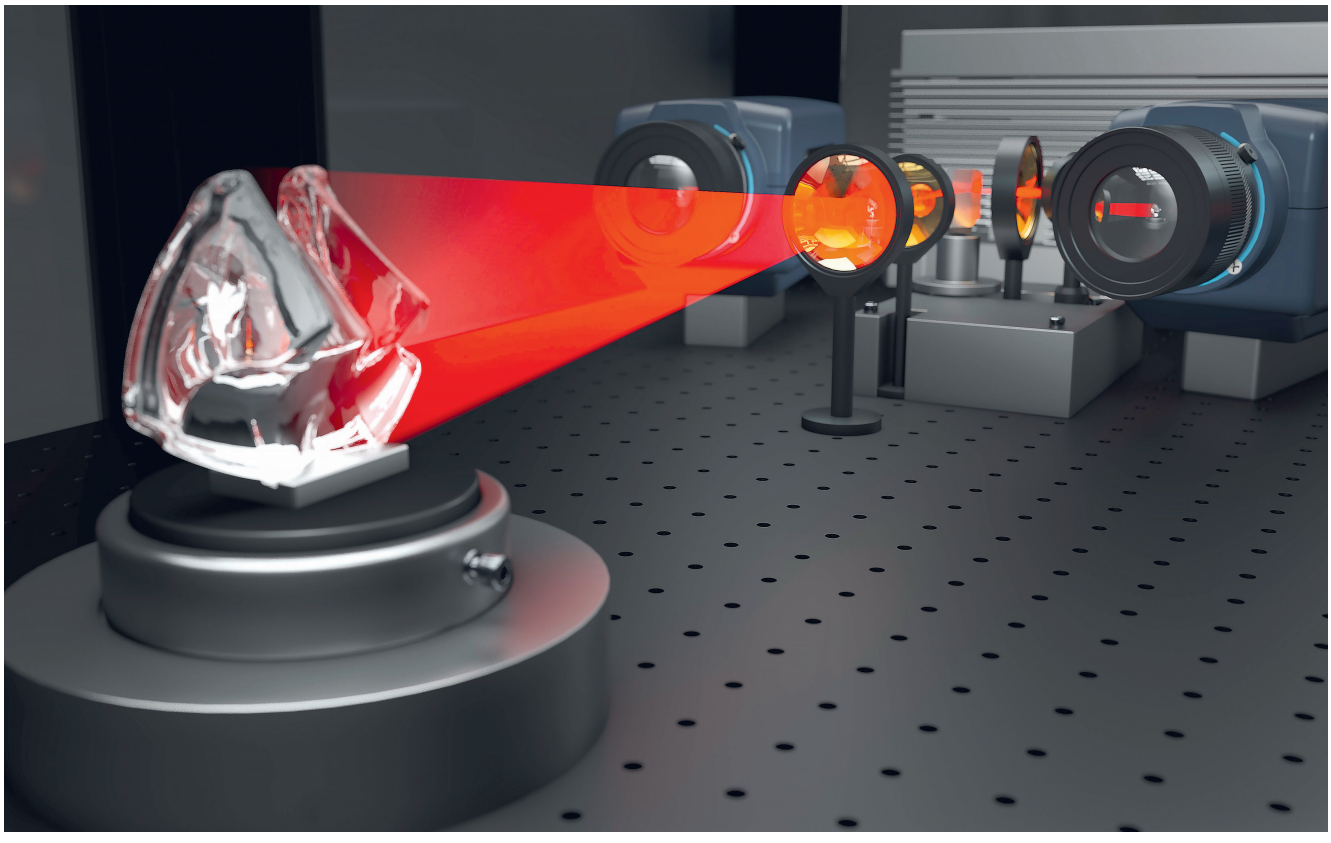

Für die dreidimensionale Messung transparenter Bauteile wird ein schmaler Streifen mit infraroter Laserstrahlung auf die Oberfläche projiziert.

© Fraunhofer IOF

3D-Messtechnik

Transparente Oberflächen messen

Die Oberflächenform glänzender oder transparenter Objekte lässt sich mit herkömmlicher optischer Messtechnik nur schwer bis gar nicht bestimmen. Ein Team vom Fraunhofer IOF hat einen 3D-Sensor entwickelt, der das Problem durch Verwendung von Wärmestrahlung statt sichtbarem Licht löst. Indem ein Infrarot-Laser mehrere Streifen auf die Oberfläche projiziert, kann diese mit einer Wärmebildkamera auf 10 µm genau gemessen werden.

Digitalisierung spielt heutzutage eine große Rolle, beispielsweise bei der Qualitätssicherung. Häufig geht es dabei um die Beantwortung der Frage, ob die Außenmaße von Teilen in Ordnung sind oder nicht. Optische Verfahren sind dabei meist das Mittel der Wahl: Sie sind kontaktlos, relativ schnell, hinreichend genau und erlauben dadurch die Kontrolle 100 % aller Teile. Zum dreidimensionalen Messen von Oberflächen gibt es eine Reihe etablierter Verfahren. Man kann mit einem gepulsten Laser ein Objekt abscannen und die Zeit messen (Time-of-Flight-Sensor) oder das Werkstück mit einem bestimmten Streifenmuster beleuchten und unter einem Winkel fotografieren. Aus dem Abstand von Projektor und Kamera(s) sowie der Krümmung der Streifen in der Fotografie werden dann die 3D-Koordinaten von Oberflächenpunkten berechnet.

Das funktioniert allerdings nur, wenn die Oberfläche des Werkstücks die Strahlung diffus reflektiert. Absorbierende, spiegelnd reflektierende oder transparente Flächen führen zu Problemen. Diese können umgangen werden, indem man die Oberfläche vor der Messung mit einem matten Lack überzieht – für eine 100-%-Qualitätssicherung ist das natürlich nicht praktikabel.

Die Herausforderung: Erfassung „nicht-kooperativer" Objekte

Ein Team am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena beschäftigt sich seit Jahren mit Technologien für die Erfassung von 3D-Daten in industriellen Anwen-

dungen. Neben verschiedenen Verfahren für die ultraschnelle Messung der Oberflächenform haben die Jenaer jetzt auch eine messtechnische Lösung zur Erfassung „nicht-kooperativer" Objekte entwickelt. Sie bestrahlen das Objekt mit einem CO_2-Laser, dessen Wellenlänge von etwa 10 µm im langwelligen Infrarot (LWIR) liegt. Mithilfe spezieller Masken formen sie diese Wärmestrahlung zu einem aperiodischen Streifenmuster.

Im Unterschied zu klassischen Projektionsverfahren werden die projizierten Muster nicht an der Oberfläche gestreut, sondern vom Objekt absorbiert und dann als Wärmestrahlung wieder emittiert. Dadurch sind die optischen Eigenschaften der Oberfläche im sichtbaren Spektralbereich nicht mehr relevant. Lediglich die Wärmeleitung des Materials beeinflusst das Verfahren.

Die Temperaturverteilung an der Objektoberfläche wird mit zwei Wärmebildkameras erfasst und ermöglicht die 3D-Rekonstruktion der Objektform. Dadurch dass die verwendeten Kameras im mittleren Infrarot (MWIR) zwischen 3 und 5 µm empfindlich sind, liegen die spektralen Bereiche von Laser und Kameras so weit auseinander, dass Messung und Bestrahlung gleichzeitig erfolgen können. Zwei offensichtliche Probleme sind bei dieser Methode zu vermeiden: Eine lokale Überhitzung der Oberfläche sowie eine zu starke „Verschmierung" des Wärmemusters durch thermische Diffusion, die zu einer reduzierten Messgenauigkeit führt. Gleichzeitig soll die Messung aber schnell genug ablaufen, damit sie für die Serienfertigung interessant bleibt.

Die Lösung: Schmale Streifen liefern hohen Kontrast

Die Forschenden des Fraunhofer IOF analysierten ihre neue Messmethode gründlich. Sie fanden heraus, dass die Bestrahlung mit schmalen Streifen (eigentlich Linien) zu deutlich besseren Ergebnissen führt als die strukturierte Erwärmung mit flächigen Mustern. Das Scannen mit einer solchen Linie liefert einen hohen Kontrast bei einem niedrigeren Wärmeeintrag als bei vergleichbarer flächiger Bestrahlung.

Die Erwärmung erfolgt innerhalb weniger Millisekunden. Dank dieser kurzen Bestrahlungsdauer können auch Materialien mit hoher Wärmeleitung gemessen werden. Gleichzeitig bleibt die lokale Erwärmung trotz der Laserleistung von 40 W auf wenige Kelvin begrenzt.

Um die Leistungsfähigkeit ihres Systems zu testen, haben die Jenaer eine Freiformoptik aus transparentem PMMA dreidimensional aufgenommen. Für die Messung wurden 1,2 mm breite Laserlinien nacheinander auf die Oberfläche projiziert und anschließend mit zwei gekühlten MWIR-Kameras aufgenommen. Sie liefern 125 Bilder pro Sekunde bei einer Auflösung von 640 × 512 Pixeln. Im konkreten Fall wurde das 3D-Modell aus sechs Einzelansichten mit jeweils 1 s Messzeit (125 projizierte Linien, 125 Kamerabildpaare) zusammengesetzt. Trotz der Drehdauer des Messobjekts zwischen den Einzelaufnahmen von 4 s konnte dadurch eine Gesamtaufnahmezeit von unter 30 Sekunden realisiert werden. Die Messgenauigkeit liegt im Bereich von 10 µm bei einer Entfernung von 500 mm zwischen Objekt und Sensor. Das Messfeld ist dabei 140 mm mal 180 mm groß.

Ausblick

Das System mit der Bezeichnung goQUALITY3D wurde als Demonstrator für den industriellen Einsatz aufgebaut und mit verschiedenen Materialien (Kunststoffe, Glas) erfolgreich getestet. Parallel zu diesem Sensor mit hoher Genauigkeit wurde auch ein Demonstrator mit Roboterarm für Bin-Picking-Aufgaben entwickelt und seit Sommer 2022 auf verschiedenen Messen präsentiert. In Zukunft werden neue Kameras mit bis zu 1000 fps die Geschwindigkeit der Datenerfassung noch um eine Größenordnung verbessern.

Anwendungsmöglichkeiten des neuen Systems

Die Anwendungsmöglichkeiten sind entsprechend vielfältig: Transparente Teile lassen sich innerhalb kürzester Zeit erkennen, greifen und messen. Das können Dialysefilter in der Medizintechnik sein oder Kunststoffoptiken in der Automobilindustrie. Auch empfindliche Kulturgüter aus Glas lassen sich so dreidimensional digitalisieren, wie das Team des Fraunhofer IOF anhand historischer Thermometer zeigen konnte. Durch die Verwendung schneller Wärmebildkameras lösen die Forschenden ein altes Problem der industriellen Bildverarbeitung: Unkooperative Oberflächen lassen sich damit schnell und genau dreidimensional erfassen. Ihr Verfahren ist robust und flexibel an komplexere Anwendungen anpassbar. ■

Im Praxistest wurde eine komplexe Freiformoptik auf PMMA gemessen. Links das Bauteil, rechts das Ergebnis der 3D-Messung. © Fraunhofer IOF

Info

Text
Dr. Andreas Thoss ist Geschäftsführer der Thoss Media GmbH

Service
Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena
iof.fraunhofer.de

Digitalversion
Ein PDF des Artikels finden Sie unter
www.kunststoffe.de/onlinearchiv