

Forschungsergebnisse

Photonik, Mikroelektronik, Informationstechnik: Intelligente optische Sensorik

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Selbstoptimierendes optisch messendes Sensorsystem
basierend auf additiv gefertigten optischen Komponenten

Selbstoptimierendes optisch messendes Sensorsystem basierend auf additiv gefertigten optischen Komponenten

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Intelligente Optische Sensoren“ werden die Möglichkeiten der additiven Fertigungstechnologien für die optische Messtechnik am Beispiel eines miniaturisierten Sensorsystems zur Vermessung von Kavitäten dargestellt. Das für eine industrielle Anwendung aus dem Bereich der In-Line-Messtechnik konzipierte System beinhaltet einen im Verfahren des selektiven Laserschmelzens gefertigten Reflektor.

In der industriellen Fertigung werden Sensoren benötigt, um die Qualität gefertigter Bauteile innerhalb der Fertigungslinie zu prüfen oder um Produkte in der Entwicklung hinsichtlich ihrer Eignung zu vergleichen. Problematisch ist hierbei die Dynamik der vorhandenen Systeme. Messbereich und Messunsicherheit des einen vorhandenen Systems reichen oft nicht aus, um die Vielfalt der vorhandenen Messaufgaben abzufangen. Aus diesem Grund wird ein Sensorsystem zur 3D-Oberflächenerfassung vorgestellt, das eine Manipulation des Dynamikbereichs zulässt, indem durch Austausch der Optikelemente Messbereich und Messunsicherheit entsprechend der Anwendung angepasst werden können.

Bei dem vorgestellten System handelt es sich um ein miniaturisiertes Lichtschnittsystem, zur Vermessung des Innenraums von hohlen, aber von außen zugänglichen, Kavitäten. Die den Sensor beinhaltende Sonde, wurde in die Kavität mit einem Durchmesserbereich von etwa zwei bis fünf Zentimetern eingebracht, es wurde durch das System ein optisches Abtastsignal projiziert und mit einem bildgebenden System, der Innenraum durch die Sonde erfasst. Eine 3D-Datengenerierung erlaubte die flächenhafte Darstellung der entsprechenden Innengeometrie.

Das komplettierte Sensorsetup mit Kinematik (1), Sensor (2) und Prüfteil (3) wird in Abb. 1 dargestellt.

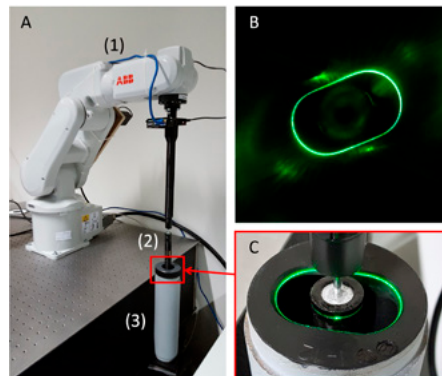


Abbildung 1: A) Setup zur Vermessung von Kavitäten bestehend aus Roboterkinematik ABB IRB 120 (1), Sensorsystem (2) und Prüfteil mit zu inspizierender Kavität (3), B) Bildaufnahme durch das Sensorsystem, C) Nahaufnahme des durch den Sensor generierten Abtastsignals

Teil des dargestellten Sensorsystems war ein Reflektor zur Laserliniengenerierung innerhalb von Kavitäten. Zur optimalen Ausleuchtung von Freiformflächen wurde ein Reflektor benötigt, der eine Fokussierung in Form einer Laserlinie und eine Budgetierung der Signalqualität zuließ, um auch auf Oberflächenarealen mit schwankender Entfernung zum Sensor, eine gleichbleibende Bestrahlungsstärke zu gewährleisten. Für diesen Zweck wurde ein Reflektor benötigt, dessen Oberfläche einer Freiform entsprach.

Ausgehend von einer kollimierten Laserbeleuchtung wurde durch einen Softwarealgorithmus, basierend auf einer Matlab-Implementierung, die Reflektorgeometrie des in Näherung konischen Reflektors als Punktwolke berechnet. Der Softwarealgorithmus basierte auf der Annahme einer Steuerung der Bestrahlungsstärke durch Krümmungsradien der Reflektoroberfläche. Durch kleine Krümmungsradien wurde reflektierte Strahlung entsprechend Abb. 2 gestreut und die

Bestrahlungsstärke gezielt an lokalen Positionen auf dem dreidimensionalen Schirm reduziert.

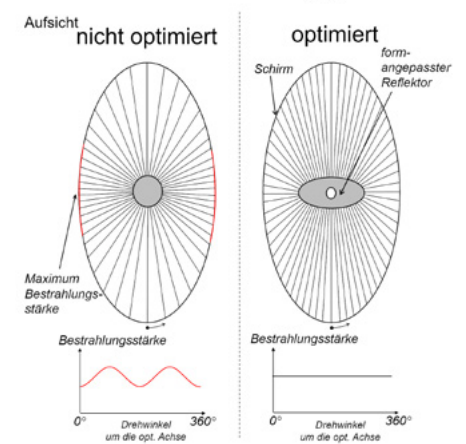


Abbildung 2: Designkonzept für einen Reflektor mit angepasster Krümmung zur intensitätsangepassten Ausleuchtung von Kavitäten in Seiten- und Aufsicht für das angepasste und nicht angepasste Optikdesign; Bestrahlungsstärke der Laserlinie auf elliptischem Schirm in Abhängigkeit des Drehwinkels um die optische Achse

Der Softwarealgorithmus beinhaltete eine Diskretisierung der Strahlungsbudgets und des Intensitätsverlaufs auf dem Detektorschirm. Über das Reflexionsgesetz konnten die entsprechenden Budgets mit den diskretisierten Flächenarealen auf dem Schirm verknüpft werden. Über die Wahl geeigneter Rahmenbedingungen (z. B. Startpunkt der Oberflächenberechnung und Größe des Strahlungsbudgets) konnte im numerischen Verfahren eine stetige Oberfläche der Reflektorgeometrie erzielt werden. Die Reflektorgeometrie wurde als Netzmodell ausgegeben und gefertigt.

Zur Fertigung der reflektiven Optikelemente wurde das additive Verfahren des selektiven Laserschmelzens gewählt. Bei diesem Verfahren wurde im Laser-Scanning-Verfahren metallisches Material in einem Pulverbett schichtweise aufgeschmolzen. Die Geometrie wurde so über einzelne Querschnitte

schichtweise aufgebaut. Zur Fertigung der metallischen Spiegel nach Abb. 3 A/B wurden unterschiedliche Legierungen erprobt.

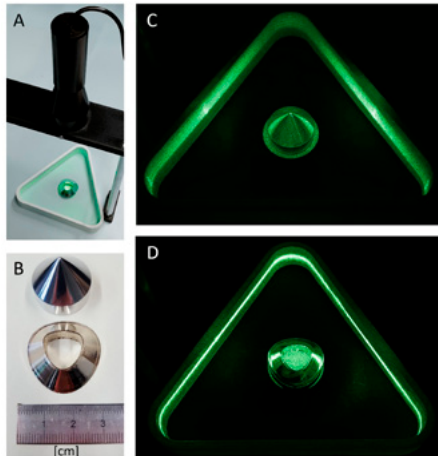


Abbildung 3: A) Setup zur Erprobung der Abstrahlcharakteristik von Freiformreflektoren bestehend aus kollimierter Laserquelle, Reflektor und auszuleuchtender Kavität, B) Additiv gefertigter Freiformreflektor im Vergleich zum gedrehten konischen Reflektor im Größenvergleich C) Abstrahlcharakteristik durch einen konischen Reflektor und einen dreieckigen Empfängerschirm, D) Abstrahlcharakteristik eines für eine dreieckige Kavität angepassten Reflektors

Es wurden Kobalt-Chrom, Edelstahl 316L, Werkzeugstahl 1.2709 und Aluminium AlSi10Mg erprobt. Durch den additiven Fertigungsverfahren verblieben zunächst Spuren von pulverförmigem Material auf der Reflektoroberfläche. Um eine reflektierende Oberfläche zu generieren, wurde die optische Oberfläche daher im manuellen Vorgang bis zur optischen Güte poliert. Der manuelle Vorgang gewährleistete eine zeiteffiziente Prozesskette bei der Fertigung von Freiformreflektoren. Bei der Reflektorfertigung zeichneten sich besonders Kobalt-Chrom und Edelstahl hinsichtlich Reflektivität und Verarbeitungsaufwand aus. Bei der Verarbeitung der Aluminiumlegierung wurde im Politurvorgang Silizium freigelegt, welches zur Minderung der Reflektivität führte. Die Härte des Werkzeugstahls führte zu einem er-

heblichen Mehraufwand bei der Nachbearbeitung.

Die Optikelemente wurden hinsichtlich Ihrer Abstrahlcharakteristik durch eine Monte-Carlo-Simulation, sowie im Versuchsaufbau evaluiert und mit einer rein konischen, nicht angepassten Reflektorgeometrie verglichen. Die Analyse nach Abb. 3 C/D zeigte, dass für eine vorgegebene Empfänger-geometrie wie z.B. ein Dreieck eine Optimierung des optischen Abtastsignals ermöglicht wurde. Bei der Vergleichsgeometrie in Kegelform wurden Schwankungen in der Bestrahlungsstärke von 60 % ermittelt. Die Schwankungen bei der formangepassten Optik lagen bei nur 5%.

Die Beleuchtungseinheit wurde durch eine Kamera mit S-Mount-Objektiv und eine Ansteuerelektronik ergänzt, um das Sensorsetup zu vervollständigen. In Kombination mit der Roboterkinematik wurde der Sensor zur Inspektion sogenannten Statoren, Teilen von Exzentrerschneckenpumpen, erprobt. Durch einen laufzeitoptimierten Softwarealgorithmus parallelisiert über GPUs wurden aus Bildaufnahmen des Sensors, Punktwolken der Kavitätengeometrie errechnet.

Die sensoreigene Software, ermöglichte eine Bewertung der Messdaten durch einen farbig kodierten Vergleich mit dem CAD-Modell der erfassten Kavität entsprechend Abb. 4. Das messtechnische System beinhaltet eine interne Signalauswertung basierend auf Bildverarbeitungsalgorithmen, um automatisiert das optische Abtastsignal hinsichtlich der Messunsicherheit zu evaluieren. Dies ermöglicht eine systeminterne Parametrisierung z.B. hinsichtlich der Belichtungszeit oder der Laserleistung. Durch die lokale Analyse der rückgestrahlten Laserleistung und Laserlinienbreite konnten kritische

Areale identifiziert werden, die nicht oder mit unzureichender Genauigkeit erfasst wurden. Dementsprechend wurde die Reflektorgeometrie neu angepasst. Die Laserleistung wurde über die Reflektorkrümmung neu verteilt und die kritischen Areale wurden mit erhöhter optische Leistung ausgeleuchtet.

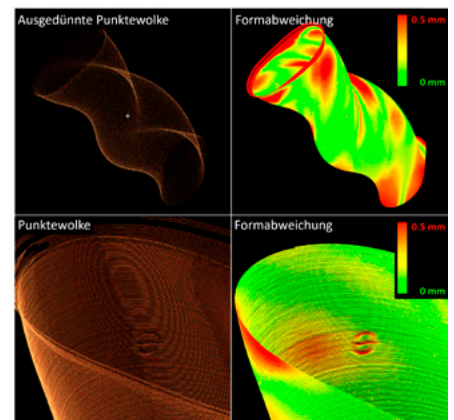


Abbildung 4: Evaluation der Punktwolke eines durch den gefertigten Sensor erfassten Pumpenstators dargestellt für zwei 3D-Szenen mit 3D-Gravur (Tiefe 500 µm); Rohdaten des Sensors und farbige Punktekodierungen in Abhängigkeit der Abweichungen zur Sollgeometrie

Das System wurde durch eine Messmittelfähigkeitsanalyse evaluiert und zeigte eine Wiederholgenauigkeit hinsichtlich der Vermessung von Durchmessern im niedrigen zweistelligen Mikrometerbereich (Standardabweichung). Der Messbereich des Sensors betrug 25 mm bis 50 mm bezogen auf die Vermessung von Durchmessern.

Das Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu alternativen Systemen, wie z.B. der chromatisch konfokalen Technologie, bestand im erhöhten Messbereich. Durch den Sensor konnten Kavitäten mit Oberflächenschwankungen im Bereich von drei Zentimetern erfasst werden, sofern die Flankensteigungen keinen Maximalwert überschritten. Eine Formanpassung der Reflektorgeometrie innerhalb der Beleuchtungsoptik ermöglichte

eine Anpassung des Messbereichs an die aktuelle Bauteilkontur. Durch das Verfahren des selektiven Laserschmelzens wurde eine zeiteffiziente Fertigung der Reflektorgeometrien ermöglicht.

Das vorhandene System basierte auf austauschbaren Freiformreflektoren, die je nach zu inspizierender Bauteilreihe gewechselt wurden. Der Fertigungsaufwand kann möglicherweise durch adaptive Spiegel reduziert werden. Durch die verformbare Oberfläche eines durch Linearaktuatoren angesteuerten Reflektors, könnten mehrere Freiformgeometrien mit einem Bauteil realisiert werden.

Kontakt

Prof. Dr. Andreas Heinrich
Zentrum für optische Technologien
Hochschule Aalen –
Technik und Wirtschaft

Anton-Huber-Straße 21
73430 Aalen

andreas.heinrich@hs-aalen.de

www.hs-aalen.de/zot