



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Robotische Inspektion von Unvollkommenheiten in optischen Oberflächen (Rio sio)

Die Herausforderung

Die Ansprüche an die Qualität und Komplexität von Optiken steigen fortwährend. Vor allem kleine und mittelständische Optikerhersteller fertigen mit hoher Expertise kleine Losgrößen bis hin zur Einzelteillfertigung. Dabei ist die Qualitätskontrolle zwischen den Fertigungsschritten und am Ende der Produktion unabdingbar. Oberflächenfehler, wie Kratzer und Löcher, sowie Verschmutzungen, beispielsweise aus vorangegangenen Prozessschritten, wie angesprengte Glaspartikel oder organische Verunreinigungen, sind problematisch. Diese Fertigungsfehler reduzieren die Abbildungsleistung des optischen Systems und führen bei hohen optischen Leistungen zu schnellerem Verschleiß durch Wärmeintrag an Streuzentren. Zur Überprüfung der Oberflächengüte ist bei kleiner Stückzahl und komplizierter Oberflächengeometrie eine visuelle Inspektion mittels Lupe und Weißlichtquelle noch immer der Stand der Technik. Die Qualitätskontrolle ist somit subjektiv und führt zur Ermüdung der Mitarbeiter, was zu höheren Fehlerquoten bei längeren Arbeitszeiten führt.

Die Innovationsidee

Ziel des IGF-Projekts war es, einen reproduzierbaren und nutzerunabhängigen Bewertungsprozess für die Oberflächengüte von optischen Bauteilen zu schaffen, der eine sichere Unterscheidung von Fehlern und Verschmutzungen ermöglicht. Dies sollte durch ein vollständig automatisiertes robotisches System mit einem geschlossenen Reinigungs- und Bewertungskreislauf erreicht werden, das für komplexe Freiformflächen mit einem Durchmesser von 100 mm sowie für Mikrolinsen einsetzbar ist. Mithilfe kollimierter Beleuchtung im streifenden Einfall sollte ein hoher Kontrast zwischen Defekt und Hintergrund erreicht werden, um eine nachgeschaltete automatisierte Auswertung per Software zu erleichtern. Aus der unterschiedlichen Ausleuchtungsgeometrie sollten Art und Form der Defekte klassifiziert werden, gegebenenfalls bis hin zur Abschätzung des Phasenhubs $\Delta\phi$ an der Defektposition. Etwaige behebbare Defekte oder Verschmutzungen an den Bauteilen sollten erkannt und in dem Reinigungsmodul beseitigt werden beziehungsweise zur Nacharbeit an vorangegangene Prozessschritte übergeben werden.

Projektinformationen

IGF-Nr.:	01IF22263N
Laufzeit:	07/2022 - 12/2024
Fördersumme:	246.013 EUR
Industrieleistungen:	88.177 EUR

Forschungseinrichtungen

- Technische Hochschule Deggendorf THD, Institut für Präzisionsbearbeitung und Hochfrequenztechnik

Projektbegleitender Ausschuss

- AIXEMTEC GmbH ^{KMU}
- asphericon GmbH ^{KMU}
- FISBA AG ^{KMU}
- GD Optical Competence GmbH ^{KMU}
- HOFBAUER Optik Mess- & Prüftech. ^{KMU}
- KARL STORZ SE & Co. KG
- LASER COMPONENTS Germ. GmbH ^{KMU}
- Mitsubishi Electric Europe B. V.
- POG Präzisionsoptik Gera GmbH ^{KMU}
- SIOS Meßtechnik GmbH ^{KMU}
- Sonosys Ultraschallsysteme GmbH ^{KMU}
- SwissOptic AG
- Zollner Elektronik AG

- Reproduzierbare u. nutzerunabh. Fehler/Verschmutzung-Unterscheidung auf Optikoberflächen
- Automatisierte robotische Inspektion planer und gekrümmter Optikoberflächen

Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

- 4 Master-Arbeiten

Das Programm "Industrielle Gemeinschaftsforschung" (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMW** fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projekimpulse.

2 IGF-**Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Ehrenamtliche **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten und bewerten die Anträge ganzjährig.

7 Das **BMW** finanziert die Forschungskosten bis max. 275/525/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen mithilfe von je 10-20 Unternehmen projektbegleitender **Industrierausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis in die Branchen hinein sicher.

11 Die **Industrie** sorgt durch Bekundung ihrer Interessen für die Praxisrelevanz der Forschung, steuert Industrieexpertise bei und validiert die Ergebnisse.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin
030 4140 21-50
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de

Die Ergebnisse

Es konnte ein Laboraufbau realisiert werden, mit dem Defekte auf optischen Bauteilen mit kollimiertem Licht in streifenförmigem Einfall aus acht Raumrichtungen untersucht werden können. Die Beleuchtung aus verschiedenen Azimutwinkeln erlaubt Rückschlüsse auf die Art, Beschaffenheit und Geometrie der Defekte. Da die Qualitätskontrolle in kleinen und mittelständischen Unternehmen in enger physischer Nähe zu den Mitarbeitern stattfindet, wurde ein kollaboratives Robotersystem verwendet, das eine Krafterkennung der einzelnen Achsen und ein implementiertes Sicherheitskonzept enthält. Das Auflösungsvermögen des Kamerasystems liegt bei circa 2 µm. Die hohe Auflösung bedingt ein relativ kleines Sichtfeld der Abbildungsoptik, wodurch ein Abrastern der Oberfläche notwendig ist. Aus den generierten Einzelbildern wird automatisiert die Position der Defekte erkannt, deren Größe vermessen, geclustert und die so generierten Daten als Report ausgegeben.

Zusätzlich zur kollimierten Beleuchtung wurde eine Beleuchtungsoptik mit zwei LEDs der Wellenlängen 365 und 275 nm aufgebaut, wodurch die Erkennung und Unterscheidung verschiedener UV-aktiver Verunreinigungen möglich ist.

Die vom projektbegleitenden Ausschuss zur Validierung zur Verfügung gestellten Proben, wie beschichtete Linsen und dielektrische Schichtstapel, wiesen Defekte auf der oberen optischen Fläche, auf der Grenzschicht zwischen unterliegendem Glas und Beschichtung bzw. unter dem dielektrischen Schichtstapel auf. Die nicht auf der oberen optischen Fläche liegenden Defekte konnten durch erfahrene Optiker am IPH zunächst nicht erkannt werden, wurden jedoch zuverlässig mit dem entwickelten System erkannt und auf den aufgenommenen Bildern dargestellt. Die kollimierte Beleuchtung in streifenförmigem Einfall ermöglichte hier eine Kontrastverstärkung.

Das ursprünglich geplante (Ultraschall-) Reinigungsmodul zur Entfernung von erkannten und als behebbar klassifizierten Kontaminationen konnte nicht innerhalb der Projektlaufzeit implementiert werden. Zwar lag ein funktionierendes, artverwandtes Konzept aus einer Arbeitsgruppe des IPH vor, doch konnte einerseits der Algorithmus zur Klassifizierung der Defektstellen bis zum Projektende noch nicht vollständig fertiggestellt werden. Andererseits war der Demonstrator-Aufbau noch nicht gegen Spritzwasser geschützt.

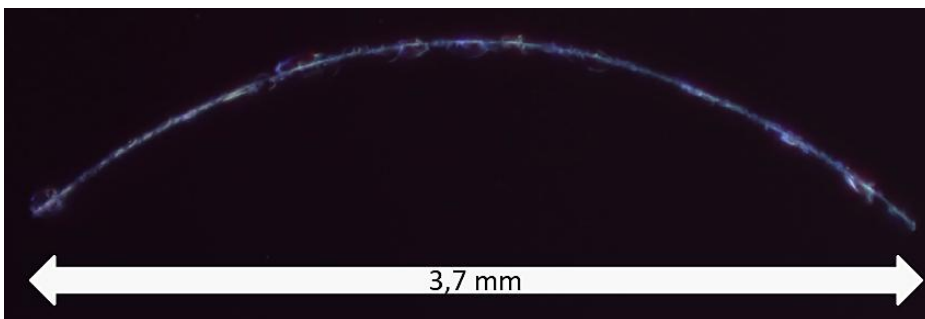
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Mithilfe des entwickelten Robotersystems ist eine automatisierte, ermüdungsfreie Analyse und Klassifikation von Defektstellen in der optischen Oberfläche für die Fertigung bis hin zur "Losgröße 1" möglich. Dies bietet vor allem hochspezialisierten kleinen Unternehmen einen Vorteil, indem Ausschuss sicher erkannt und Personal entlastet werden kann. Außerdem können durch die frühzeitige Erkennung von Ausschuss obsoletere, kostenintensive Folgeprozesse vermieden werden.

Umsetzung

Nach Projektende wurden mit einem Unternehmen aus dem Projektbegleitenden Ausschuss Versuche am Laboraufbau durchgeführt. Zudem soll in einer Weiterentwicklung des Systems ein Polarisationsfilter vor und nach der Beleuchtung integriert werden. Auf diese Weise kann der Kontrast bei Fehlern noch erhöht werden. Mittelfristig ist eine Verwendung des Aufbaus für Prozesse der institutseigenen Optikfertigung angedacht. Für eine mögliche alternative Verwendung zur Erfassung von Defekten und Rauheiten auf Halbleiter-Substraten besteht bereits Kontakt zum Fraunhofer IISB. Erste Proben aus diesem Anwendungsfeld liegen dem IPH bereits vor.



Mit dem Roboter-System detektierter Kratzer, Taille Minimum 10 µm.