

Forschungsergebnisse

# Optische Technologien

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

---

Automatisierte multiskalige Prüftechnik  
für die Inspektion technischer Oberflächen



# Automatisierte multiskalige Prüftechnik für die Inspektion technischer Oberflächen

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Optische Technologien“ der Baden-Württemberg-Stiftung gGmbH forschten die Institute für Technische Optik und Systemdynamik der Universität Stuttgart an Methoden zur automatisierten, multisensorischen und flexiblen Inspektion technischer Objekte. Diese wurden im Projektzeitraum am Beispiel der Zahnradinspektion in einem Demonstrator implementiert.

Bei der Fertigung technischer Präzisionsbauteile ist eine umfassende Qualitätsprüfung zur Verifikation der gegebenen Bauteilspezifikationen notwendig. Da nicht alle zu überprüfenden Unvollkommenheiten, wie beispielsweise Oberflächendefekte, in Stichproben zuverlässig erkannt werden können, ist eine vollständige Inspektion sämtlicher produzierter Bauteile mit kurzer Messzeit unausweichlich. Bisher werden solche Inspektionen vornehmlich durch manuelle Sichtprüfung vorgenommen oder eine angepasste Messtechnik entwickelt. Dies lohnt sich jedoch zu meist nur für Großserienproduktionen und für eine limitierte Anzahl unterschiedlicher Inspektionskriterien. Ziel des Projekts war die Konzeption und

Entwicklung eines flexiblen Systems zur Inspektion komplexer Geometrien.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen den im Projektzeitraum realisierten Demonstrator zur Inspektion unterschiedlicher Zahnräder. Ein solches System besteht aus mehreren optischen Sensoren, einer präzisen Mehrachsaktuatorik mit geeigneter Regelung sowie einer umfangreichen Steuerungs-, Planungs- und Auswerte-Software.

Optische Sensoren zur 3D-Oberflächenvermessung sind gewöhnlich begrenzt durch das bekannte Spannungsdreieck aus Auflösung, Feldgröße und Messzeit. Zudem ist jeder Sensor meistens nur für gewisse Oberflächentypen geeignet. Um ein flexibles Inspektionssystem zu erhalten, werden unterschiedliche optische Sensoren in einem gemeinsamen Aufbau eingesetzt, die zusammen eine möglichst große Anzahl an Eigenschaften abdecken. Zur Inspektion der Zahnräder war dies ein Streifenprojektionsmikroskop mit variablen Zoomstufen (1.0x bis 10.0x) sowie ein hochgenauer, chromatisch konfokaler Punktsensor, um auch kleinste Defekte präzise abtasten zu können.

Zur Positionierung des Inspektionsobjekts besteht das System zudem aus einer genauen Mehrachsaktuatorik. Im konkreten Fall der Zahnradinspektion sind dabei drei translatorische und eine rotatorische Achse verbaut. Die jeweiligen Achspositionen werden dabei durch ein speziell entwickeltes und angepasstes Regelungssystem mithilfe präziser Encoder ausgelesen. Eine wichtige Komponente der Maschinenregelung ist eine umfangreiche Bahnplanung zur Positionierung des Objekts relativ zum jeweiligen Sensor. Für die flächige Abtastung gekrümmter Oberflächen werden zudem mäanderförmige Mehrachsfahrten realisiert und der Sensor aufgrund seiner aktuellen Messwerte in Echtzeit der Oberfläche nachgeführt.

Neben der reinen Hardware war ein Hauptschwerpunkt des Forschungsprojekts die Entwicklung von Steuerungs- und Assistenzsystemen. Sie dienen der Erstellung der einzelnen Inspektionsaufgaben, der assistierten Planung zur messtechnischen Umsetzung der Inspektion und anschließenden Datenauswertung. Die Inspektion wird an einem CAD-Modell angelegt, wo-

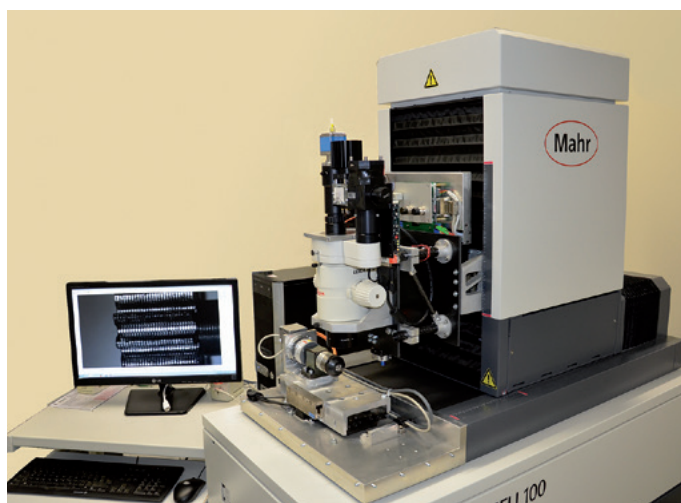


Abb. 1: Demonstratoraufbau zur Inspektion von Zahnrädern; Positionierung: Koordinatenmessmaschine MFU 100 (modifiziert), Firma Mahr; Sensoren: Streifenprojektionsmikroskop mit variablen Zoomstufen sowie ein chromatisch konfokaler Punktsensor, Firma Precitec

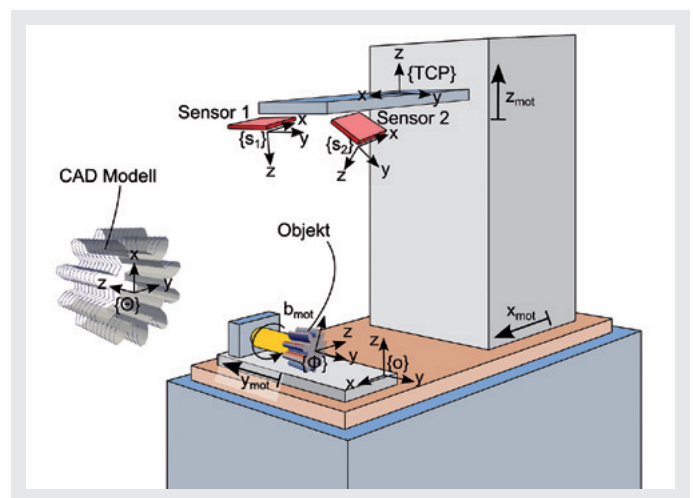


Abb. 2: Schema eines flexiblen multisensorischen Inspektionssystems: Mehrachsaktuatorik und beliebige Anzahl unterschiedlicher Sensoren. Die Inspektion wird mithilfe eines CAD-Modells des Objekts angelegt; alle aufgenommenen Messdaten werden schließlich wieder in das CAD-Modell zurückgeführt

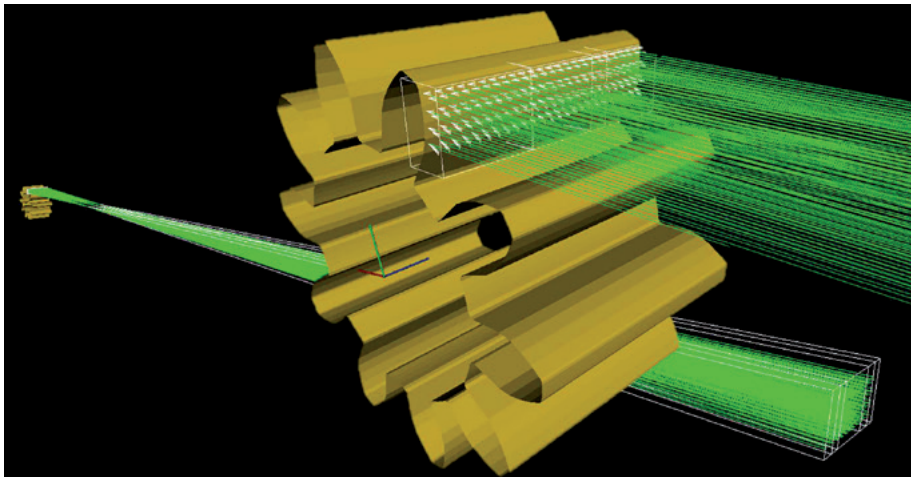


Abb. 3: Raytracing-Simulation der Ansichtenplanung zur optimalen Bestimmung möglichst weniger, aber ausreichend guter Sensorpositionen zur ganzheitlichen Abtastung ausgewählter Oberflächenregionen

bei der Benutzer Teiloberflächen mit Spezifikationen verbinden kann, die Auskunft über die zu prüfende Defektklasse, Toleranzen und zu erwartende Oberflächenbeschaffenheiten gibt. Daraus wird dann der Inspektionsplan berechnet, für den mithilfe von Leitsätzen und Sensordatenbanken der geeigneten Sensor und seine Parametrisierung bestimmt und hinterlegt werden. Im Projekt wurde zudem ein Ansichtenplanungssystem entwickelt, dass online für eine Kombination aus Oberflächenregion und Sensor eine möglichst geringe Anzahl, jedoch geeignete und anfahrbare Liste von

Achspositionen bestimmt, um die gesamte Region mit dem gewünschten Sensor abzutasten. Dieses System basiert auf einfachen Sensormodellen und Kalibrierkurven und simuliert die Messung mithilfe von Raytracing (Abb. 3).

Schließlich werden die notwendigen Achsfahrten und Messungen durchgeführt und alle Messdaten zur Analyse in das Koordinatensystem des CAD-Modells rücktransformiert. Dies geschieht aufgrund einer umfangreichen Kalibrierung aller Sensoren, der Achsen und ihrer jeweiligen Lage bezüglich

eines gemeinsamen Inertialsystems. Abbildung 4 zeigt die Inspektion einer Zahnflanke zur Detektion von Dellen. Für eine zeitoptimale Inspektion wird ein hierarchischer, multiskaliger Ansatz verfolgt. Zunächst wird die gesamte Flanke in einer Messung mit einer geringen Vergrößerung abgetastet. Die Lage der Flanke sowie erste Hinweise auf mögliche Defektpositionen (Indikationen) sind daraus ableitbar. Anschließend werden iterativ mit höheren Auflösungen nur noch die indizierten Teilbereiche abgetastet, bis schließlich die Spezifikation hinreichend genau überprüft werden konnte.

Zusammenfassend wurde im Projekt ein flexibles optisches Inspektionssystem konzipiert und an einem Demonstratoraufbau umgesetzt. Dieses System ist in der Lage, aufgrund von Inspektionsaufgaben, die an einem CAD-Modell angelegt werden, automatisiert geeignete Sensoren und ihre Parametrisierung auszuwählen, die Datenaufnahmen und Bahnfahrten zu planen, und schließlich die Inspektion durchzuführen.

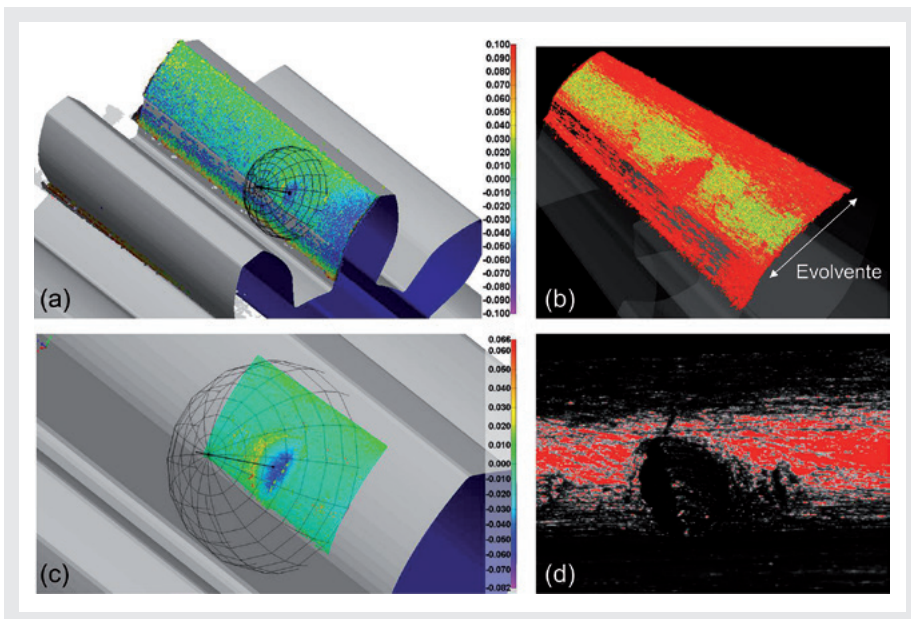


Abb. 4: Multiskalige Inspektion einer Delle in einer Zahnflanke. In einer Übersichtsmessung (a) wurde die Flanke zunächst mit der mikroskopischen Streifenprojektion und 1.0x Vergrößerung abgetastet. Um den Defekt besser bewerten zu können, wurde schließlich die Evolvente mit drei Einzelmessungen mit der 2.5x Vergrößerung detaillierter aufgenommen (b). Die Bilder (c) und (d) zeigen schließlich Detailtopografie- und Intensitätsdaten der Delle mit der 5.0x Vergrößerung

Kontakt

Marc Gronle  
Institut für Technische Optik  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 9  
70569 Stuttgart  
Tel. 0711 68569888  
gronle@ito.uni-stuttgart.de  
www.uni-stuttgart.de/ito

Alexander Keck  
Institut für Systemdynamik  
Universität Stuttgart  
Waldburgstr. 17/19  
70563 Stuttgart  
Tel. 0711 68565927  
keck@isys.uni-stuttgart.de  
www.isys.uni-stuttgart.de