

# Prüfung optischer Oberflächen – neu gedacht und auf Knopfdruck

A. F. Warken, F. Etzold, P. Würtz, D. Kiefhaber, J.M. Asfour

DIOPTIC GmbH, Weinheim

<mailto:warken@dioptic.de>

In der Optikfertigung wird die Qualität von optisch hochwertigen Bauteilen traditionell durch eine manuell-visuelle Prüfung nach ISO 10110-7 durchgeführt. Durch ein modernes bildverarbeitendes System kann ein objektives Prüfergebnis schnell und zuverlässig ermittelt werden. Die Digitalisierung und Verwertung der Ergebnisse ermöglicht einen wichtigen Schritt in Richtung Industrie 4.0.

## 1 Einführung

Seit vielen Jahrzehnten ist der Standard für die Qualitätskontrolle von Oberflächenunvollkommenheiten (kurz: OFU, Sauberkeit, Kratzer und Löcher) nach ISO 10110-7 eine manuell-visuelle Prüfung in Dunkelfeldkonfiguration [1,2]. Sie ist stark abhängig von subjektiven Faktoren und das optische Auflösungsvermögen ist oft durch das menschliche Auge beschränkt. Gerade bei streng spezifizierten Proben, wie z.B. bei Hochleistungs-Laseroptiken und Sensordeckgläsern, erfordert dies eine Untersuchung großer Inspektionsflächen mit hoher Auflösung, was viel Zeit bei dauerhaft hoher Konzentration des Prüfers erfordert.

Ein objektives Prüfergebnis kann durch moderne bildverarbeitende Systeme schnell und zuverlässig ermittelt werden. Alle Anforderungen für eine Prüfung und darüber hinaus für ein Prüfprotokoll, wie es in ISO 14997 bereits definiert ist [3], können in automatisierter Weise auf Knopfdruck, vollständig, präzise und reproduzierbar erfüllt werden. Dadurch entfallen häufige Reklamationen. Verzögerungen in der Produktion sowie eine generelle Belastung der Kunden-Lieferanten-Beziehung können vermieden werden. Eine lang bestehende Lücke in der objektiven und automatisierten Qualitätsprüfung wird geschlossen. Dies stellt einen wichtigen Schritt für die Optikindustrie in Richtung Industrie 4.0 dar.

## 2 Die Prüfung nach ISO 10110-7

Die Größenbestimmung von OFUs in der visuellen Prüfung erfolgt über Vergleichsplatten. OFUs werden nach sogenannten Gradzahlen klassifiziert, die die Wurzel des Flächeninhaltes angeben.

Für eine Beurteilung der Häufung von relevanten OFUs wird deren Gesamtfläche innerhalb von jeweils 5 % der Prüffläche ausgewertet.

Hierbei sind alle OFUs ab einer Größe von 16 % der spezifizierten Größe bzw. 25 % der Kratzerbreite auszuwerten. Dabei ist von einem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges von etwa 0,1 mm im Prüfabstand auszugehen, so dass für eine korrekte Beurteilung oft bereits vergrößerte Optiken

und Stereolupen eingesetzt werden müssen. Der Minimalwert einer prüfbaren Spezifikation bei visueller Prüfung ohne Hilfsmittel beträgt 5/ 1x0,63; C1x0,63; L1x0,1 [3]. Jede Spezifikation definiert also eine Minimalauflösung der Prüfmethode. Ist mit dieser spezifikationsabhängigen Auflösung eine OFU nicht mehr weiter auflösbar, so wird sie als eine OFU gewertet, auch wenn höher auflösende Methoden hier eine Separierung in mehrere OFUs nahelegen könnten. Genauso sind bezüglich der geforderten Auflösung ausreichend weit unterbrochene lange Kratzer als zwei oder mehrere OFUs zu werten. Damit kann ein vermeintlicher langer Kratzer dann auch als allgemeine OFU zu werten sein.

Diese Regeln sind für ein bildverarbeitendes System direkt umsetzbar und ermöglichen zuverlässige Ergebnisse [4,5]. Die Industrie beginnt bereits mit dem Einsatz der bildverarbeitenden Systeme für die optische Qualitätsprüfung.

## 3 Matching von subjektiv und objektiv erhaltenen Ergebnissen

Für eine erfolgreiche Einführung des QS-Systems in die Produktionsstraße ist ein sanfter Übergang wünschenswert. Das bedeutet, es sollte sichergestellt sein, dass Sichtprüfer und Gerät im Wesentlichen zu denselben Ergebnissen kommen. Aufgrund der Systematik eines bildverarbeitenden Systems ist hier mit leichten Abweichungen zu einer subjektiven Methode zu rechnen. Hierzu wurden umfangreiche Tests mit Proben verschiedener Hersteller durchgeführt und die Übereinstimmung immer wieder bestätigt. Der umfangreichste Einzeltest in Zusammenarbeit mit einem großen deutschen Optikhersteller beinhaltet eine produktionsbegleitende Messung von etwa 700 plano-konkaven Linsen, die beidseitig zu prüfen waren. Hierbei wurde eine Übereinstimmung von 93,6% der Ergebnisse festgestellt.

Kritisch zu betrachten sind lange Kratzer, auch Wischer genannt. Sie haben oft eine Breite innerhalb der zugelassenen Spezifikation und werden mit unzureichender Auflösung betrachtet. In einem engen

Winkelbereich von Betrachtung und Beleuchtung strahlen sie mitunter hell auf und die Optiken werden daher dann oft als außer Toleranz bezeichnet. Generell lässt sich der Trend beobachten, dass Qualitätsprüfer gerne dazu tendieren, überkritisch zu prüfen und im Zweifelsfall einen Prüfling eher auszusortieren. Diesen Graubereich zu reduzieren, bringt für die Produktion bei gesicherter Qualität zugleich eine höhere Ausbringung.

#### 4 Gerätebasierte Prüfung optischer Oberflächen

Eine mögliche Lösung zur Inspektion optischer Oberflächen besteht aus einem System in Dunkel-feldkonfiguration mit einer Zeilenkamera, das in einem Durchgang die gesamte Optik abscannt. Dadurch können Bilder mit 256 Megapixeln und einer optischen Auflösung von unter 5 Mikrometern von Prüflingen bis 45 mm Durchmesser aufgenommen werden. So entsteht in Sekundenschnelle ein Bild, eine reproduzierbare Auswertung und ein automatisch erstelltes Prüfprotokoll (s. Abb. 1).

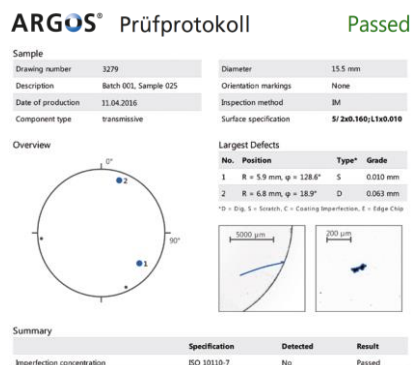


Abb. 1 Ergebnis (Ausschnitt des Protokolls) der Prüfung am Beispiel eines Prüflings mit langem Kratzer.

#### 5 Linsenprüfung mit EDOF-Technologie

Linsen und Asphären werden mittels EDOF-Technologie (extended depth of field) geprüft, indem mehrere Ebenen von optischen Schnitten aufgenommen (s. Abb.2) und die Defektinformationen der jeweils schärfsten Bilder daraus auf eine Ebene projiziert werden. Für die so gefunden Defekte wird im Anschluss wie für eine Planoptik ein Prüfprotokoll erstellt.

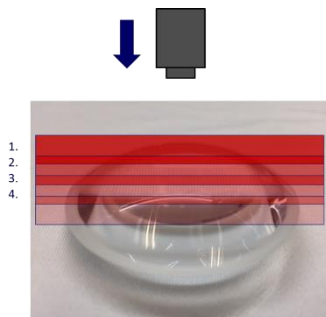


Abb. 2 Gerätebasierte Prüfung optischer Oberflächen. Mit EDOF Technologie wird ein Bild aus mehreren optischen Schnitten berechnet.

#### 6 Volumenprüfung

Durch den Einsatz von EDOF können auch Volumina geprüft werden. Hier sind Bläschen und Einschlüsse aber auch Fehlstellen in Klebe- und Kittschichten zu nennen. Abbildung 3 zeigt drei Aufnahmen des Displays eines Mobiltelefons in unterschiedlicher Tiefe. Man kann gut einen Kratzer auf der Oberfläche erkennen ( $z = 0$  mm), sowie Fehlstellen in der Klebeschicht ( $z = -1,1$  mm) und auch die Pixel des Displays selbst. Diese Technologie kann auch für die Linsenprüfung auf Volumenfehler eingesetzt werden sowie für die Prüfung von Ober- und Unterseite von Planoptiken in einem vollständig automatisierten Ablauf.

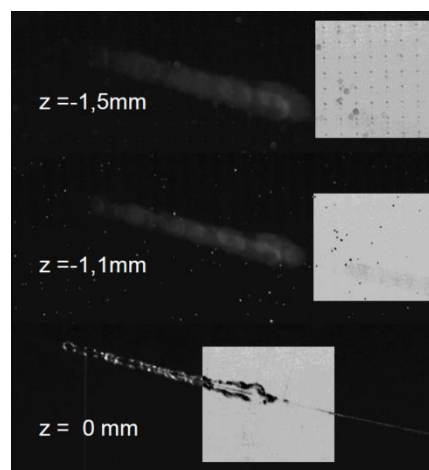


Abb. 3 Volumenprüfung am Beispiel des Displays eines Mobiltelefons.

#### 7 Zusammenfassung

Wir konnten zeigen, dass optische Bauelemente wie Planoptiken, Linsen und Asphären durch ein bildverarbeitendes Gerät reproduzierbar und normkonform geprüft werden können.

#### Literatur

- [1] ISO/FDIS 10110-7:2016(E) Optics and photonics – Preparation of drawings for optical elements and systems – Part 7: Surface imperfection tolerances (2016).
- [2] Neubecker, R., "Automatic inspection for surface imperfections: requirements, potentials and limits", Proc SPIE, (2016)
- [3] ISO/FDIS 14997:2016(E) Optics and photonics – Test methods for surface imperfections of optical elements (2016).
- [4] Fabian Etzold; Daniel Kiefhaber; Arno F. Warken; Peter Würtz; Jenny Hon; Jean-Michel Asfour, „A novel approach towards standardizing surface quality inspection“, Proc. SPIE 10009, Third European Seminar on Precision Optics Manufacturing, 1000908 (June 30, 2016); doi:10.1117/12.2235743
- [5] Aikens, D. M., "The Truth About Scratch and Dig", Optical Fabrication and Testing," OTuA2 (OSA, 2010)