

Tolerierung von Oberflächenformabweichungen

Eckhard Langenbach

FISBA AG, St. Gallen

<mailto:eckhard.langenbach@fisba.com>

Vorgestellt wird die Weiterentwicklung der Norm DIN 3140-5 für die Tolerierung von Formabweichungen sphärischer Oberflächen zur DIN ISO 10110-5, die auch für asphärische Flächen und neue Messmethoden anwendbar ist. Die Abschätzung der Auswirkung der Toleranzen auf die Abbildungsleistung ermöglicht die Festlegung sinnvoller Grenzen für die Oberflächenformabweichungen.

1 Geschichtlicher Rückblick

Bereits seit dem Ende der 1950er-Jahre gibt es mit der DIN 3140-5 *Maß- und Toleranzangaben für Optikeinzelteile – Paßfehler* eine Norm zur Tolerierung von Oberflächenformabweichungen. Diese alte Norm ist zugeschnitten auf die damals übliche Flächenformmessung sphärischer Oberflächen mit Probegläsern und unterscheidet drei verschiedene Arten von „Passfehlern“:

- Grobpassfehler A

$$3/A(-)-$$

- regelmäßiger Passfehler

$$3/A(B)-$$

- max. Radienabweichung A
- maximale Radiendifferenz B

- Feinpassfehler: zusätzliche Abweichung C von der regelmäßigen Passfehlerform

$$3/A(B)C$$

Seit den 1990er-Jahren ersetzen die Normen (DIN) ISO 10110 und (DIN) ISO 14999 die Vorgänger DIN 3140 und erweitern den Anwendungsbereich auf asphärische Flächen und auf die Verwendung neuerer Messverfahren. Wichtige Normen zur Tolerierung der Oberflächenform sind:

- DIN ISO 10110-5: Oberflächenformtoleranzen
- DIN ISO 10110-14: Toleranzen für Wellenfrontdeformationen
- (DIN) ISO 14999: Interferometrische Messung von optischen Elementen und Systemen / Interferometric measurement of optical elements and optical systems
 - ISO/TR 14999-1: Terms, definitions and fundamental relationships

- ISO/TR 14999-2: Measurement and evaluation techniques
- ISO/TR 14999-3: Calibration and validation of interferometric test equipment and measurements
- DIN ISO 14999-4: Interpretation und Beurteilung der Toleranzen nach ISO 10110

- DIN ISO 10110-8: Oberflächengüte; Rauheit und Welligkeit

2 Oberflächenformabweichungen nach DIN ISO 10110-5

- $3/A(B/C)RMSx < D; \lambda = E$ (alle $\emptyset \dots$)

- A : Power-Abweichung
- B : Unregelmäßigkeit
- C : rotationsinvariante Unregelmäßigkeit
- D : RMS x -Abweichung, $x \rightarrow t, i$ oder a
- E : Wellenlänge
- $\emptyset \dots$: Durchmesser des Teilprüfbereichs

- PV und robuster PV der Oberflächenformabweichung $3/PV(R)$, $3/PVr(R)$
- Erweiterung für zylindrische Flächen $3/AX$; $AY(B/CX; CY)$
- Beschreibung der gemessenen Wellenfront als Linearkombination orthogonaler Funktionen (Zernike, Legendre, ..., siehe Abb. 1) und Tolerierung der Koeffizienten
- Anstiegsabweichungen (siehe Abb. 2)

$$3/\Delta S_{v,w}(F/G/H)$$

$$3/RMS\Delta S_{v,w}(K/G/H)$$

- v : 1-dim oder 2-dim
- w : Richtung x, y, ρ, φ
- F : maximal zulässige Anstiegsabweichung
- G : Abtastlänge
- H : Abtastintervall
- K : rms-Wert der Anstiegsabweichung

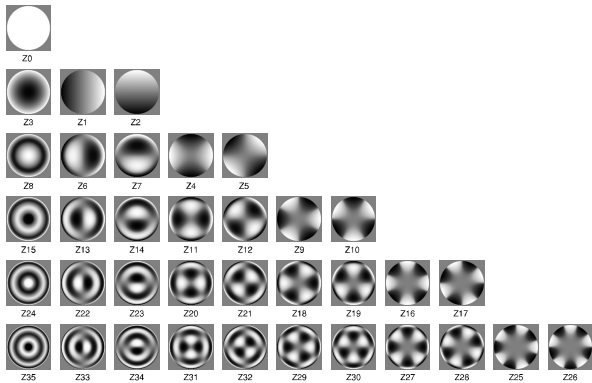


Abbildung 1 Orthogonale Zernike-Funktionen

3 Sinnvolle Festlegung der Toleranzen

3.1 Power und Unregelmäßigkeit $3/A(B/C)$

Die Auswirkung dieser Oberflächenformabweichungen hängen ab von der Position im optischen System: Bei pupillen-/blenden-nahen Flächen sind die zu einem Objektpunkt gehörenden Strahlbündeldurchmesser ähnlich groß wie die freien Öffnungen der optischen Flächen, und Formabweichungen beeinflussen die Abbildungsleistung sehr stark. Auf Flächen in der Nähe der Objekt-, Bild- oder Zwischenbildebene sind die Strahlbündeldurchmesser viel kleiner als die freien Öffnungen, und die Abbildungsleistung leidet weniger unter den Formabweichungen. Der Einfluss von Oberflächenformabweichungen wächst an mit dem Brechzahlunterschied der von der Fläche getrennten Medien.

Die Power-Abweichung A entspricht der Radienabweichung einer Fläche und sorgt in einem optischen System hauptsächlich für eine Verschiebung der Bildebene, die oft durch Umfokussieren kompensiert werden kann. Außerdem werden Aberrationen beeinflusst, und die Power-Abweichungen A aller Flächen müssen so gewählt werden, dass der vorhandene Fokussierweg ausreicht und die Aberrationen genügend klein bleiben. Bei Kittgliedern dürfen sich die zu verkittenden Radien nur wenig unterscheiden.

Die Unregelmäßigkeit (B/C) wirkt sich meist direkt auf die Abbildungsleistung aus und kann kaum kompensiert werden. Die gebräuchlichen Optikrechenprogramme erlauben eine Simulation der Bildgüterschlechterung, die die Lage der Fläche im System und die Brechzahlunterschiede berücksichtigt, und helfen bei der Toleranzfestlegung.

3.2 Anstiegsabweichung $3/\Delta S_{v,w}(F/G/H)$

Die Anstiegsabweichung einer Fläche sorgt für eine ungewollte Richtungsänderung der betroffenen Lichtstrahlen um einen Winkel, der proportional zur Anstiegsabweichung F und zum Brechzahlprung an der Fläche ist. Dadurch ändert sich – auch wieder

abhängig von der Position der Fläche im optischen System – die zugehörige Queraberration des Lichtstrahls. Die Abtastlänge G wählt man dann so, dass die Ausdehnung des Beugungsbilds eines entsprechenden großen Strahlbündels die zulässigen Queraberrationen nicht wesentlich überragt. Für das Abtastintervall nimmt man typischerweise $H = G/10$.

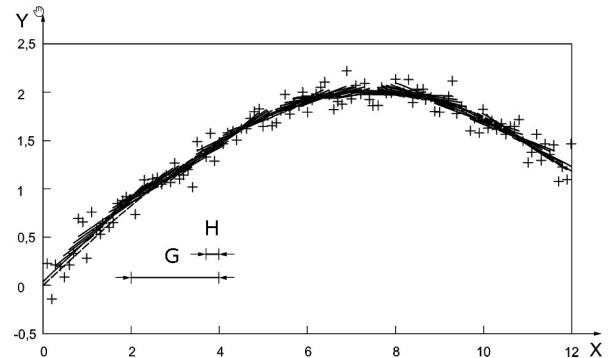


Abbildung 2 Parameter der Anstiegsabweichung (Quelle: ISO 14999-4)

4 Grenzen der Norm

Obwohl mit der (DIN) ISO 10110-5 eine Vielzahl unterschiedlicher Oberflächenformabweichungen toleriert werden können, gibt es immer noch Fälle, in denen die Norm (noch) keine adäquate Beschreibung der zulässigen Toleranz ermöglicht. Zum Beispiel werden durch konvexe Deformationen von Feldlinsen Bildpunkte zusammengeschoben, was zu einer lokalen Erhöhung der Bildhelligkeit führt, die proportional zur Krümmung der Deformation ist (siehe Abb. 3). Eine passende Toleranz für die Formabweichung fordert analog zur Anstiegsabweichung die Begrenzung der lokalen Krümmungsabweichung, und das lässt sich aktuell nicht mit einer genormten Zeichnungsangabe tolerieren, sondern muss durch einen frei formulierten Text beschrieben werden.



Abbildung 3 Kontrastverstärkte Bildhelligkeitsverteilung einer welligen, asphärischen Feldlinse