

**DIN ISO 10110-5**

ICS 01.100.20; 37.020

Einsprüche bis 2015-07-15  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN ISO 10110-5:2008-12**Entwurf****Optik und Photonik –  
Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme –  
Teil 5: Oberflächenformtoleranzen (ISO/FDIS 10110-5:2015);  
Text Deutsch und Englisch**

Optics and photonics –  
Preparation of drawings for optical elements and systems –  
Part 5: Surface form tolerances (ISO/FDIS 10110-5:2015);  
Text in German and English

Optique et photonique –  
Indications sur les dessins pour éléments et systèmes optiques –  
Partie 5: Tolérances de forme de surface (ISO/FDIS 10110-5:2015);  
Texte en allemand et anglais

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-05-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter [www.entwuerfe.din.de](http://www.entwuerfe.din.de) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nafuo@din.de](mailto:nafuo@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/stellungnahme](http://www.din.de/stellungnahme) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) (Hausanschrift: Alexander-Wellendorff-Str. 2, 75172 Pforzheim).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 54 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

**Inhalt**

Seite

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Nationales Vorwort .....                                                                                                         | 3  |
| Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise.....                                                                         | 5  |
| Einleitung.....                                                                                                                  | 6  |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                        | 7  |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                   | 7  |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                 | 7  |
| 4 Angaben von Toleranzen für Oberflächenformabweichungen .....                                                                   | 8  |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                                            | 8  |
| 4.2 Einheiten .....                                                                                                              | 8  |
| 4.3 Wellenlänge .....                                                                                                            | 9  |
| 5 Zeichnungsangaben .....                                                                                                        | 9  |
| 5.1 Allgemeines .....                                                                                                            | 9  |
| 5.2 Form der Angabe basierend auf der Codenummer.....                                                                            | 10 |
| 5.2.1 Allgemeines .....                                                                                                          | 10 |
| 5.2.2 Codenummer .....                                                                                                           | 10 |
| 5.2.3 Grundformen .....                                                                                                          | 10 |
| 5.2.4 Zusatzformen .....                                                                                                         | 12 |
| 5.2.5 Fläche.....                                                                                                                | 15 |
| 5.2.6 Ort der Angabe.....                                                                                                        | 15 |
| 5.3 Struktur der Angaben in einer Tabelle.....                                                                                   | 16 |
| 5.4 Festlegung von Abweichungen in Sätzen von Zernike-Koeffizienten in Tabellenform .....                                        | 17 |
| 6 Beispiele für Toleranzangaben.....                                                                                             | 17 |
| 6.1 Beispiele für Angaben basierend auf der Codenummer .....                                                                     | 17 |
| 6.2 Beispiele für Angaben in einer Tabelle .....                                                                                 | 20 |
| 6.2.1 Asphärische Oberflächen .....                                                                                              | 20 |
| 6.2.2 Durch XY-Polynome beschriebene Oberfläche (Kartesische Koordinaten).....                                                   | 20 |
| 6.2.3 Durch $p\phi$ -Polynome beschriebene Oberfläche (Polarkoordinaten).....                                                    | 21 |
| 6.2.4 Beispiel für die Spezifikation von Abweichungen mittels Zernike-Koeffizienten in Tabellenform .....                        | 21 |
| Anhang A (informativ) Zusammenhang zwischen der Toleranz der Power-Abweichung und der Toleranz des Krümmungsradius.....          | 23 |
| Anhang B (informativ) Gegenüberstellung der ISO 10110-5 and ISO 14999-4:Korrespondierende Nomenklatur, Funktionen und Werte..... | 24 |
| Literaturhinweise .....                                                                                                          | 29 |

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (ISO/FDIS 10110-5:2015) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172/SC 1 „Fundamental standards“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) unter Beteiligung deutscher Experten ausgearbeitet. Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist hierfür der DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO), Arbeitsausschuss NA 027-01-02 AA „Grundnormen für die Optik“, Arbeitskreis „Zeichnungen für die Optik“ zuständig

DIN ISO 10110 besteht mit dem Haupttitel *Optik und Photonik – Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme* aus folgenden Teilen

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Materialfehler; Spannungsdoppelbrechung
- Teil 3: Materialfehler; Blasen und Einschlüsse
- Teil 4: Materialfehler; Inhomogenitäten und Schlieren
- Teil 5: Oberflächenformtoleranzen
- Teil 6: Zentriertoleranzen
- Teil 7: Oberflächenunvollkommenheiten
- Teil 8: Oberflächengüte; Rauheit und Welligkeit
- Teil 9: Oberflächenbehandlungen und Beschichtungen
- Teil 10: Darstellung in Tabellenform
- Teil 11: Allgemeintoleranzen für Werte ohne Toleranzangabe
- Teil 12: Asphärische Oberflächen
- Teil 14: Toleranzen für Wellenfrontdeformationen
- Teil 17: Zerstörschwelle für Laserstrahlung
- Teil 19: Allgemeine Beschreibung von Oberflächen und Komponenten

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| ISO 7944     | siehe DIN EN ISO 7944  |
| ISO 10110-1  | siehe DIN ISO 10110-1  |
| ISO 10110-10 | siehe DIN ISO 10110-10 |
| ISO 10110-11 | siehe DIN ISO 10110-11 |
| ISO 10110-12 | siehe DIN ISO 10110-12 |
| ISO 10110-14 | siehe DIN ISO 10110-14 |
| ISO 10110-19 | siehe DIN ISO 10110-19 |
| ISO 14999-4  | siehe DIN ISO 14999-4  |

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung von ISO/FDIS 10110-5 entsprechend der diesbezüglich durch ISO erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

## Änderungen

Gegenüber DIN ISO 10110-5:2008-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) „Nanometer“ wurde anstelle der „Interferenzstreifen“ als Vorzugseinheit zur Spezifizierung von Toleranzen für bestimmte Arten von Oberflächenformabweichungen eingeführt;
- b) Erweiterung des Anwendungsbereiches, so dass die Norm nun auch Oberflächen höherer Ordnungen, wie Asphären, nicht-kreisförmig zylindrische Flächen und allgemeine Flächen beinhaltet;
- c) eine Spezifikation der Abweichungen in Tabellenform wurde ergänzt;
- d) eine Definition von „Pfeilhöhenabweichung“ wurde ergänzt;
- e) die Name der Größe A wurde in „Power-Abweichung“ geändert, was der Änderung in ISO 14999-4 entspricht. Für weitere Details, siehe 5.2.3, Anmerkung 3;
- f) ein informativer Anhang B wurde ergänzt, welcher einen Vergleich von ISO 10110-5 und 14999-4 hinsichtlich sich entsprechender Nomenklatur, Funktionen und Werte enthält.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 7944, *Optik und optische Instrumente — Bezugswellenlängen*

DIN ISO 10110-1, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 1 : Allgemeines*

DIN ISO 10110-10, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 10: Darstellung in Tabellenform*

DIN ISO 10110-11, *Optik und optische Instrumente — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 11: Allgemeintoleranzen für Werte ohne Toleranzangabe*

DIN ISO 10110-12, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 12: Asphärische Oberflächen*

DIN ISO 10110-14, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 11: Toleranzen für Wellenfrontdeformationen*

DIN ISO 10110-19, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 19: Allgemeine Beschreibung von Oberflächen und Komponenten*

DIN ISO 14999-4, *Optik und Photonik — Interferometrische Messung von optischen Elementen und Systemen — Teil 4: Interpretation und Beurteilung der Toleranzen nach ISO 10110*

## Einleitung

Dieser Teil von ISO 10110 bezieht sich auf die Formabweichungen einer optischen Oberfläche und ermöglicht die Festlegung von Toleranzen für bestimmte Arten von Oberflächenformabweichungen ausgedrückt in Nanometer.

Es ist allgemein üblich, die Oberflächenformabweichung interferometrisch als die Wellenfrontdeformation zu messen, die bei einfacher Reflexion einer Prüfwellenfront an der optischen Oberfläche bei senkrechtem Einfall ( $90^\circ$  zur Oberfläche) entsteht. Daher ist es möglich, die interferometrische Auswertung einheitlich darzustellen, so dass sie für beide Anwendungen genutzt werden kann, d.h. die Oberflächenformabweichung und die Wellenfrontdeformation. Da die Auswertung der meisten Messungen softwarebasiert ist, sind die Abweichungen in Nanometern angegeben. Jedoch werden bei interferometrischen Messungen die Einheit „Interferenzstreifen“ verwendet. Ein „Interferenzstreifen“ entspricht einer Oberflächenformabweichung, die eine Deformation der reflektierten Wellenfront von einer Wellenlänge erzeugt. Ein in Nanometer angegebener Wert ist ein Indiz für die tatsächliche Höhenabweichung der Oberfläche (und nicht die der reflektierenden Wellenfront).

Die zu prüfende Fläche zusammen mit der Probeglasoberfläche stellt zum Beispiel solch ein Interferometer dar. Die Oberflächenformabweichung wird durch die Wellenfrontabweichung dargestellt, die sich aus der Differenz der an der zu prüfenden Fläche reflektierten Wellenfront und der an der Probeglasoberfläche reflektierten Wellenfront ergibt.

Wegen der möglichen Verwechslungsgefahr und der Gefahr von Fehlinterpretationen ist möglichst die Einheit Nanometer anstelle von „Interferenzstreifen“ verwendet werden. Wenn als Einheit „Interferenzstreifen“ verwendet wird, ist die zugehörige Wellenlänge ebenfalls festzulegen und anzugeben.

Zusätzlich können Toleranzen für die Anstiegsabweichungen von Oberflächen in den Einheiten mrad,  $\mu$ rad arcmin oder arcsec angegeben werden.

# Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 5: Oberflächenformtoleranzen

## 1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm legt die Darstellung der konstruktiven und der funktionellen Anforderungen an optische Elemente und Systeme in technischen Zeichnungen für Fertigung und Prüfung fest.

Dieser Teil von ISO 10110 legt die Regeln für die Angabe von Toleranzen von Oberflächenformabweichungen fest.

**ANMERKUNG** Begriffe aus der Interferometrie, die die Einheit „Interferenzstreifen“ nutzt, wird weitläufig zur Beschreibung der Toleranzen genutzt. Nichtsdestotrotz gewinnen in letzter Zeit nicht-interferometrische Verfahren zur Prüfung von optischen Teilen zunehmend an Bedeutung. Daher wird nun, im Gegensatz zu den vorherigen Versionen dieses Teils von ISO 10110, Nanometer bevorzugt und als Standardeinheit zur Angabe der Oberflächenformabweichung verwendet. Die Verwendung von Interferenzstreifen ist weiterhin zulässig vorausgesetzt die Bezugswellenlänge ist explizit angegeben.

Dieser Teil von ISO 10110 gilt sowohl für ebene, sphärische, asphärische, kreisförmig und nichtkreisförmig zylindrische und torische Formen als auch für Oberflächen von anderer nicht-sphärischer Form, wie zum Beispiel allgemeine Flächen<sup>N1</sup>). Er gilt nicht für diffraktive Oberflächen, Fresnel-Oberflächen und mikro-optische Oberflächen.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 10110-1, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 1: General*

ISO 10110-10, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 10: Table representing data of optical elements and cemented assemblies*

ISO 10110-19<sup>1)</sup> *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 19: General description of surfaces and components*

ISO 14999-4, *Optics and photonics — Interferometric measurement of optical elements and optical systems — Part 4: Interpretation and evaluation of tolerances specified in ISO 10110*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 14999-4 und die folgenden Begriffe.

---

N1) Allgemeine Flächen beinhalten Freiformflächen, siehe auch ISO 10110-19.

1) Noch zu veröffentlichen.

### 3.1

#### Oberflächenformabweichung

Funktion, die den Abstand der Normalen zur Oberfläche zwischen einer nominalen optischen Oberflächenform und einer gemessenen Form darstellt, beschrieben als eine gemessene Wellenfrontdeformation  $f_{WD}$  oder  $f_{WD,CY}$  definiert nach ISO 14999-4

Anmerkung 1 zum Begriff: ISO 14999-4 liefert die Definitionen für die Deformationsfunktionen.

### 3.2

#### Pfeilhöhenabweichung

$\Delta Z$

Funktion, welche die Abstände entlang der  $z$ -Achse zwischen einer nominalen optischen Oberflächenform und einer gemessenen Form beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: ISO 10110-19 liefert die Definitionen für die Abweichungen

Anmerkung 2 zum Begriff: Basierend auf interferometrischen Messungen werden die Messwerte in Richtung der Normalen zur Oberfläche erfasst und müssen für den Vergleich mit Abweichungen in  $z$ -Richtung konvertiert werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für einfache optische Oberflächen ist die  $z$ -Achse häufig die optische Achse.

## 4 Angaben von Toleranzen für Oberflächenformabweichungen

### 4.1 Allgemeines

Die Toleranzen für Oberflächenformabweichungen werden durch die Spezifikation der maximal zulässigen Werte für die Power-Abweichung, für die Unregelmäßigkeit, die rotationsinvariante und/oder translationsinvariante Unregelmäßigkeit angegeben. Zusätzlich können Toleranzen für rms-Werte der Oberflächenformabweichung (rms-Gesamtabweichung, rms-Unregelmäßigkeit und rms-rotations- und/oder translationsvariante Wellenfrontabweichung) und Toleranzen der Anstiegsabweichung (max und rms Wert) festgelegt werden (bezüglich der Definitionen siehe ISO 14999-4). Eine Oberflächenformabweichung, die basierend auf einer Pfeilhöhentabelle, kann sowohl in der  $z$ -Richtung, als Unregelmäßigkeit sowie als Anstieg gegeben sein.

Sowohl die Oberflächenformtoleranzen als auch die Toleranzen für Anstiegsabweichungen können in verschiedenen Schnitten und Richtungen  $(x,y)$  oder  $(\rho,\varphi)$  variieren. In diesem Fall, können auch die Abtastlänge und das räumliche Abtastintervall voneinander abweichen.

Die Oberflächenformtoleranz kann auch als Koeffizient eines Zernike-Polynoms ausgedrückt werden.

ANMERKUNG 1 ISO 10110-14 bietet die Möglichkeit nur eine Toleranz für die Wellenfrontdeformation anzugeben, ohne Toleranzen für einzelne Flächen angeben zu müssen.

ANMERKUNG 2 Verfahren zur Bestimmung der Werte der Power-Abweichung, der Unregelmäßigkeit, der rotations- und/oder translationsinvarianten Unregelmäßigkeit und der Anstiegsabweichung einer gegebenen Oberfläche sind in ISO 14999-4 angegeben.

Die Spezifikation einer Anstiegsabweichungstoleranz oder eines rms-Anstieges, wird bei nicht-sphärischen Oberflächen, wie asphärischen, nicht-kreisförmig zylindrischen oder allgemeinen Flächen empfohlen. In Abhängigkeit der Anwendung und Komplexität kann die maximal zulässige Anstiegsabweichung als Absolutbetrag in  $(x, y)$  oder  $(\rho, \varphi)$  angegeben werden.

Es ist nicht erforderlich, für alle Typen der Oberflächenformabweichung Toleranzen anzugeben.

Alle Abweichungen der Oberfläche mit Ausnahme einer Abweichung sind senkrecht zur theoretischen Oberfläche definiert. Die Pfeilhöhenabweichung,  $\Delta Z$ , ist entlang der  $z$ -Achse definiert.

## 4.2 Einheiten

Die maximal zulässigen Werte der Power-Abweichung, der Unregelmäßigkeit, der rotations- und/oder translationsinvarianten Unregelmäßigkeit sind in Einheiten Nanometer oder, falls dies bevorzugt wird, in Mikrometer oder Interferenzstreifen anzugeben. Wenn eine Spezifikation für eine oder mehrere rms-Formabweichungstypen erforderlich ist, müssen diese in den Einheiten Nanometer, oder falls bevorzugt, in Mikrometer oder Interferenzstreifen angegeben werden.

Um Verwirrung zu vermeiden, sollten Oberflächenformabweichungen niemals in „Lichtwellenlängen“ angegeben werden.

Wenn eine Fläche interferometrisch in Reflexion bei senkrechtem Einfall geprüft wird, verursacht eine Oberflächenformabweichung der Fläche um den Betrag einer halben Lichtwellenlänge eine Wellenfrontabweichung mit dem Betrag einer ganzen Wellenlänge. Dies führt zu einem Interferenzmuster in dem sich die Intensität von einem hellen Streifen zum nächsten oder von einem dunklen Streifen zum nächsten verändert d. h. ein (1) „Interferenzstreifen“ ist sichtbar. Für die Anwendung dieses Teils von ISO 10110 bezieht sich der Begriff „Interferenzstreifen“ nicht auf den Querabstand zwischen den Streifen, sondern auf die Tatsache, dass die im Interferenzmuster sichtbare Streifenzahl der Anzahl Wellenlängen der Wellenfrontabweichung entspricht.

ANMERKUNG 1 Ein „Interferenzstreifen“ ist  $1 \times 1/2 \times$  die Wellenlänge (in Nanometern), in der die Oberflächenformabweichung letztlich angegeben ist.

ANMERKUNG 2 Die Angabe einer Toleranz für eine rms-Abweichungsart erfordert die digitale Auswertung des optischen Systems.

Abweichungen, die auf einer Pfeilhöhentabelle basieren, sind entlang der  $z$ -Achse in metrischen Einheiten wie  $\mu\text{m}$  oder nm anzugeben.

Die maximal zulässigen Werte für die max und die rms-Anstiegsabweichung sind bevorzugt in der Einheit mrad anzugeben. Die entsprechende Gradzahl  $\mu\text{rad}$ , arcmin (...) and arcsec (...) können ebenfalls benutzt werden. Die Einheit muss immer angegeben werden.

## 4.3 Wellenlänge

Bei der Verwendung von Interferenzstreifen ist die Wellenlänge anzugeben.

ANMERKUNG 1 Wenn nicht anders angegeben, wurde in vorherigen Versionen dieser Norm, die grüne Quecksilberlinie (e-Linie) mit  $\lambda = 546,07 \text{ nm}$ , nach ISO 7944, als Bezugswellenlänge verwendet.

ANMERKUNG 2 Die Angaben können mit folgender Formel von einer Bezugswellenlänge in eine andere umgerechnet werden:

$$N_{\lambda 2} = N_{\lambda 1} \times \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Dabei sind  $N_{\lambda 1}$  und  $N_{\lambda 2}$  die Anzahl der Interferenzstreifen bei der Wellenlänge  $\lambda_1$  beziehungsweise  $\lambda_2$ .

## 5 Zeichnungsangaben

### 5.1 Allgemeines

Die Oberflächenformtoleranz wird durch eine Codenummer und die Angabe der Toleranzen für die Power-Abweichung, die Unregelmäßigkeit, die rotations- und/oder translationsinvariante Unregelmäßigkeit, den maximalen Anstieg und für die Typen der rms-Anstiegsabweichung, soweit erforderlich, angegeben. Die Unregelmäßigkeit, die Formabweichung in  $z$ -Richtung, der maximaler Anstieg und die rms-Anstiegsabweichung können auch in einer Tabelle in Verbindung mit der Pfeilhöhentabelle angegeben

werden. Beide Spezifikationen können zusammen verwendet werden. Es muss sichergestellt sein, dass die beiden sich nicht widersprechen.

Die Verwendung von Angaben ist im Allgemeinen nicht durch die spezifizierte Form wie sphärisch oder zylindrisch begrenzt. Es sind jedoch nicht alle Spezifikationen für alle Oberflächenformen hilfreich. Alle Größen sind mit der zugehörigen Einheit anzugeben. Falls keine Einheit explizit angegeben ist, impliziert dies eine Angabe in Interferenzstreifen.

## 5.2 Form der Angabe basierend auf der Codenummer

### 5.2.1 Allgemeines

Die Angabe muss aus einer Grundform bestehen und kann durch zusätzliche Formen ergänzt werden. Mehrfachformen müssen durch ein Semikolon voneinander getrennt sein.

### 5.2.2 Codenummer

Die Codenummer für die Oberflächenformtoleranz ist 3/.

### 5.2.3 Grundformen

3 / A(B/C)

oder

3 / A(B/C)RMS<sub>x</sub> < D

dabei ist *x* einer der Buchstaben t, i oder a (siehe unten, Größe D).

oder

3 / RMS<sub>x</sub> < D

dabei ist *x* einer der Buchstaben t, i oder a (siehe unten, Größe D).

oder

3 / AX;AY(B/CX;CY)

oder

3 /

ANMERKUNG In früheren Ausgaben wurde 3/–RMS<sub>x</sub> verwendet.

Wird die Einheit Interferenzstreifen verwendet, muss die Angabe "; λ = E" ergänzt werden, um die Wellenlänge zu spezifizieren.

Die Größe A ist entweder:

- a) die maximal zulässige Power-Abweichung (peak-to-valley-Wert) PV(*f*<sub>WS</sub>) nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen; oder
- b) ein Gedankenstrich (—), der anzeigt, dass die gesamte Krümmungsradiustoleranz in der Angabe des Krümmungsradius enthalten ist (für Planflächen nicht anwendbar).

Die Größen AX und AY sind entweder:

- a) die maximal zulässige Power-Abweichung (peak-to-valley-Wert)  $PV(f_{WC,x})$  und  $PV(f_{WC,y})$  für zylindrische und ähnliche Oberflächen, nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen, oder
- b) ein Gedankenstrich (—), der anzeigt, dass die gesamte Krümmungsradiustoleranz in der Angabe des Krümmungsradius enthalten ist.

Wenn keine Power-Abweichung erlaubt ist, so muss A, AX oder AY gleich 0 sein. In diesem Fall muss die gesamte Abweichung auch der Teil der als Power-Abweichung interpretiert werden kann, in der Unregelmäßigkeit B enthalten sein.

Im Fall von Oberflächen ohne Symmetrie, wo keine Art von Power-Abweichung anwendbar ist, muss A gleich 0 gesetzt werden.

ANMERKUNG 1 Oft wird die Toleranz der Power-Abweichung berechnet, indem nur ein Teil der Krümmungsradiustoleranz nach der Gleichung in Anhang A in die Toleranz der Power-Abweichung umgewandelt wird.

ANMERKUNG 2 Ist keine Toleranz des Krümmungsradius festgelegt und ein Gedankenstrich für die Wirkung angegeben, so gilt ISO 10110-11.

ANMERKUNG 3 Vorherige Ausgaben dieses Teils der ISO 10110 verwandten für die Größe A die Bezeichnung Pfeilhöhenabweichung. Dies ist nicht korrekt, da die tatsächliche Pfeilhöhenabweichung parallel zur z-Achse bestimmt wird. Zur besseren Verständlichkeit wurde der Name der Größe A überall in Power-Abweichung (dies spiegelt die Änderung der ISO 14999-4 wieder) umbenannt, so dass die tatsächliche Pfeilhöhenabweichung korrekt verwendet werden kann.

ANMERKUNG 4 Die Spezifikation der Größe A für Oberflächen mit einer starken Krümmung sollte mit großer Sorgfalt gewählt werden, da sich in diesem Fall der Wert der Power-Abweichung signifikant von der Radianabweichung unterscheiden kann.

Die Größe B ist entweder:

- a) der maximal zulässige Wert (peak-to-valley-Wert)  $PV(f_{WI})$  der Unregelmäßigkeit nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen wenn A verwendet wird; oder
- b) der maximal zulässige Wert (peak-to-valley-Wert)  $PV(f_{WI,CY})$  der Unregelmäßigkeit für zylindrische und ähnliche Oberflächen, nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen wenn AX und/oder AY verwendet werden; oder
- c) ein Gedankenstrich (—), der anzeigt, dass keine explizite Toleranzangabe für die Unregelmäßigkeit erfolgt.

Die Größe C ist entweder:

- a) die maximal zulässige Wert (peak-to-valley-Wert)  $PV(f_{WRI})$  der rotationsinvarianten Unregelmäßigkeit nach ISO 14999-4 angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen; oder
- b) ein Gedankenstrich (—), der anzeigt, dass keine explizite rotationsinvariante Unregelmäßigkeit gegeben ist.

Wenn keine Toleranzangabe erfolgt, wird der Schrägstrich (/) durch die abschließende Klammer ersetzt, d.h. 3/A(B).

Die Größen CX und CY sind entweder:

- a) die maximal zulässigen Werte (peak-to-valley-Werte)  $PV(f_{WTI,x})$ ,  $PV(f_{WTI,y})$  der translationsinvarianten Unregelmäßigkeit für zylindrische und ähnliche Oberflächen nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen. CX und CY werden für die Spezifikation der Symmetrie entlang der X- und Y-Achse verwendet; oder
- b) ein Gedankenstrich (—), der anzeigt, dass keine explizite translationsinvariante Unregelmäßigkeitstoleranz für beide oder eine von beiden Richtungen gegeben ist.

Wenn keine Toleranzangabe erfolgt, wird der Schrägstrich (/) durch die abschließende Klammer ersetzt, d.h. 3/AX;AY(B).

Wenn für alle drei Typen von Oberflächenformabweichungen keine Toleranz angegeben wird, werden A, B, C, der Schrägstrich (/) und die Klammern durch einen einzigen Gedankenstrich (—) ersetzt, d.h. 3/—.

Die Größe D ist der maximal zulässige rms-Wert des durch  $x$  spezifizierten Typs der Oberflächenformabweichung, wobei  $x$  einer der Buchstaben t, i oder a ist. Diese Abweichungen sind definiert

- a) für rotationssymmetrische Flächen in  $rms(f_{WD})$  rms-Gesamtabweichung für t, in  $rms(f_{WI})$  rms-Unregelmäßigkeit für i und  $rms(f_{WTV})$  rms der rotationsvarianten (asymmetrischen) Unregelmäßigkeit für a nach ISO 14999-4, oder
- b) für zylindrische und ähnliche Oberflächen in  $(f_{WD,CY})$  rms-Gesamtabweichung für t, in  $rms(f_{WI,CY})$  rms-Unregelmäßigkeit für i und  $rms(f_{WTV})$  rms der translationsvarianten (asymmetrischen) Unregelmäßigkeit für a nach ISO 14999-4.

Die Spezifikation für mehr als eine Art von rms-Abweichung ist zulässig. Diese Angaben werden durch Semikolon getrennt aufgeführt, wie in Abschnitt 6, Beispiel 5 angegeben.

Die Größe E ist die Wellenlänge, in Nanometern, in der die Oberflächenformabweichung für die Einheit Interferenzstreifen angegeben wird.

ANMERKUNG 5 Die Größen A und C sind am besten geeignet für rotationsinvariante und ähnliche Oberflächen. Die Größen AX, AY, als auch CX und CY sind am besten für zylindrische, torische oder für ähnliche Oberflächen geeignet.

ANMERKUNG 6 Abhängig von der Abweichung der Oberflächenform von der Rotationsinvarianz und abhängig von der Funktionalität des optischen Systems, können generell für alle Oberflächen, entweder die eindimensionalen Spezifikationen A und C oder die zweidimensionalen Spezifikationen AX und AY sowie CX und CY hilfreich sein. Die Werte B und D sind immer anwendbar.

## 5.2.4 Zusatzformen

### 5.2.4.1 Max und RMS der Oberflächen-Anstiegsabweichung

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

und

$$RMS \Delta S_{v,w}(K/L/M);$$

dabei ist

v ist entweder 1-dim oder 2-dim oder nichts,

w ist eine der Richtungen  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  und  $\varphi$  oder nichts bei frei wählbaren Richtungen.

Die Größe F ist entweder:

- a) die maximal zulässige 1-dim Anstiegsabweichung  $\xi_{1\text{-dim}}$  nach ISO 14999-4, wenn v 1-dim in der durch w spezifizierten Orientierung ist, dabei ist w einer der Buchstaben/Richtungen  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  und  $\varphi$  oder fehlt vollständig,
- b) die maximal zulässige 1-dim Anstiegsabweichung  $\xi_{1\text{-dim}}$  nach ISO 14999-4, wenn v fehlt, aber w als einer der Buchstaben/Richtungen  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  und  $\varphi$  spezifiziert ist,
- c) die maximal orientierungsunabhängige 2-dim Anstiegsabweichung  $\xi_{2\text{-dim}}$  nach ISO 14999-4, wenn v 2-dim ist; hierbei entfällt die Spezifikation von w, oder
- d) die maximale Anstiegsabweichung wo - wenn v und w fehlen - frei zwischen 1-dim in allen Orientierungen oder 2-dim gewählt werden kann.

Die Größe G ist entweder:

- a) die Abtastlänge im 1-dim nach ISO 14999-4, oder
- b) die Kantenlänge der Abtastfläche im 2-dim nach ISO 14999-4, die zur Bestimmung der Anstiegsabweichung genutzt wird (Größe F).

Die Größe H ist das räumliche Abtastintervall nach ISO 14999-4, das zur Bestimmung der Anstiegsabweichung genutzt wird (Größe F).

Die Größe K ist entweder:

- a) die maximal zulässige rms-Größe der 1-dim Anstiegsabweichung  $\xi_{1\text{-dim}}$  nach ISO 14999-4, wenn v 1-dim in der durch w spezifizierten Orientierung ist, dabei ist w einer der Buchstaben/Richtungen  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  und  $\varphi$  oder fehlt vollständig,
- b) die maximal zulässige rms-Größe der 1-dim Anstiegsabweichung  $\xi_{1\text{-dim}}$  nach ISO 14999-4, wenn v fehlt aber w als einer der Buchstaben/Richtungen  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  und  $\varphi$  spezifiziert ist,
- c) die orientierungsunabhängige rms-Größe der 2-dim Anstiegsabweichung  $\xi_{2\text{-dim}}$  nach ISO 14999-4, wenn v 2-dim ist; hierbei entfällt die Spezifikation von w, oder
- d) die maximal zulässige rms-Größe der Anstiegsabweichung wo - wenn v und w fehlen - frei zwischen 1-dim in allen Orientierungen oder 2-dim gewählt werden kann.

Die Größe L ist entweder:

- a) die Abtastlänge im 1-dim nach ISO 14999-4, oder
- b) die Kantenlänge der Abtastfläche im 2-dim nach ISO 14999-4, die zur Bestimmung der Anstiegsabweichung genutzt wird (Größe K).

Die Größe M ist das räumliche Abtastintervall, das zur Bestimmung der Anstiegsabweichung (Größe K) genutzt wird, nach ISO 14999-4, um in K berechnet zu werden.

Es ist mehr als eine Toleranzspezifikation für max und rms Anstiegsabweichungen zulässig. Diese Spezifikationen sind aufgelistet und getrennt durch ein Semikolon, wie in 6.1, Beispiel 9 angegeben.

Für max und rms 1-dim Anstiegsabweichungstoleranzen muss die Orientierung der Anstiegsauswertung in der Zeichnung angegeben werden.

Die geforderte Orientierung spezifiziert im Allgemeinen nicht direkt das verwendete Messverfahren. Wenn 1-dim. Messverfahren verwendet werden muss die Messrichtung in der Orientierung festgelegt sein.

Wenn ein 1-dim Messverfahren verwendet wird und die Orientierung des Anstiegs nicht festgelegt ist, könnte es sein, dass die Messung aller Richtungen praktisch nicht möglich ist. In diesem Fall sind die kritischsten Orientierungen mit Hinblick auf das Herstellungsverfahren zu messen.

1-dim Spezifikationen können auch basierend auf einer 2-dim Messung geprüft werden. In diesem Fall müssen die Messdaten basierend auf dem 1-dim Verfahren in der geforderten Orientierung ausgewertet werden.

Berechnungen der max- und rms-Anstiegsabweichungen werden auf Basis der Funktion  $f_{\text{det}}$  nach Trendbereinigung durchgeführt, Standardmäßig entspricht  $f_{\text{det}}$  einer der folgenden Funktionen: Wellenfrontunregelmäßigkeit  $f_{\text{WI}}$  oder Wellenfrontunregelmäßigkeit für zylindrische Wellenfronten  $f_{\text{WI,CY}}$ . Alle Größen sind in der ISO 14999-4 definiert. Wenn eine andere Methode als die Standardmethode verwendet werden soll, um  $f_{\text{det}}$  zu berechnen, muss dies in einer Anmerkung in der Zeichnung angegeben werden.

#### 5.2.4.2 Oberflächenformabweichung beschrieben durch Zernike-Koeffizienten

$Z(n,m)(PV < O; RMS < P)$

dabei ist

(n,m) ein oder eine Reihe von Werten, die den Grad des Zernike-Polynoms widerspiegelt.

Die Größe O ist der maximal zulässige peak-to-valley-Wert der Oberflächenformabweichung, der durch ein Zernike-Polynom oder durch die kombinierte Funktion eines Satzes von Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4, beschrieben ist; dabei sind (n,m) Indizes für ein Zernike-Polynom oder einen Satz von Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4.

Die Größe P ist der maximal zulässige rms-Wert der Oberflächenformabweichung, der durch ein Zernike-Polynom oder durch die kombinierte Funktion eines Satzes von Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4, beschrieben ist; dabei sind (n,m) Indizes für ein Zernike-Polynom oder einen Satz von Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4.

Ein Satz von Zernike-Polynomen  $Z(n_1,m_1)$ ,  $Z(n_2,m_2)$ ,  $Z(n_3,m_3)$  oder  $Z(N=x)$  wird interpretiert als die Summenfunktion dieser Zernike-Polynome. Speziell für mathematisch komplexe Zernike-Koeffizienten oder Zernike-Polynomen, die aus mehreren Toleranzen bestehen, sind die Werte in einer Tabelle anzugeben (siehe 5.4).

Bei peak-to-valley und rms Oberflächenformabweichungen, beschrieben durch Zernike Koeffizienten, wird die Radiuskorrektur berücksichtigt. Somit verkleinert eine geeignete Radiuskorrektur den peak-to-valley-Wert und den rms-Wert, wohingegen eine Power-Abweichung dies nicht tut.

Sowohl peak-to-valley als auch rms-Zernike-Spezifikationen sind nur für kreisförmige Prüfbereiche anwendbar.

#### 5.2.4.3 PV und Robuster PV der Oberflächenabweichungen

3/ PV(Q)

und

3/ PVr(R)

Die Größe Q ist der maximal zulässige peak-to-valley-Wert der Gesamtoberflächenabweichung PV ( $f_{\text{WD}}$ ) nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen.

Die Größe R ist der maximal zulässige robuste peak-to-valley-Wert der Gesamtoberflächenabweichung PVr ( $f_{WD}$ ) nach ISO 14999-4, angegeben in Nanometer, Mikrometer oder Interferenzstreifen.

Bei PV und PVr Werten wird die Radiuskorrektur berücksichtigt. Somit verkleinert eine geeignete Radiuskorrektur den peak-to-valley-Wert und den Robusten peak-to-valley-Wert, wohingegen eine Power-Abweichung dies nicht tut.

Aufgrund der Verwendung von Zernike-Polynomen ist PVr nur für kreisförmige Prüfbereiche anwendbar.

### 5.2.5 Fläche

Die angegebene Oberflächenformtoleranz gilt für die gesamte optisch wirksame Fläche, wenn keine Einschränkung gemacht wird.

Wenn die Angabe auf ein kleineres Testfeld innerhalb eines größeren Testbereichs nach ISO 10110-1 anzuwenden ist, ist die Abmessung des Testfeldes wie folgt an die Toleranzangabe anzuhängen:

$$3 / A(B/C) \text{ RMSx} < D \quad (\text{alle } \emptyset \dots)$$

Siehe Abschnitt 6, Beispiel 3.

Toleranzen in der Tabelle anzugeben, wie in Tabelle 1 dargestellt, bietet eine zweite Möglichkeit Toleranzen auf kleineren Flächen anzuwenden.

Ein Testfeld beliebiger Form (z.B. rechteckig) kann definiert werden und an jeder beliebigen Stelle innerhalb des Testbereichs als ein bemaßter Bereich positioniert werden. Geeignete Anforderungen, die mittels Bezugslinie und Bezeichner „3/ Testfeld“ markiert werden, gelten auf allen möglichen Positionen des Testfeldes innerhalb des Testbereichs. In dem Fall soll die geometrische Form des Testfeldes an die entsprechende Toleranzangabe wie folgt angehängt werden:

$$3/A(B/C) \text{ RMSx} < D \quad (\text{alle } \dots \times \dots,)$$

### 5.2.6 Ort der Angabe

Die Toleranzangaben, die auf der Codenummer basieren, müssen in Tabellenform nach ISO 10110-10 angegeben werden.

Alternativ darf für Linsenelemente, die Toleranzangabe in Verbindung mit einer Bezugslinie mit der zugehörigen Oberfläche angegeben werden und wird mit den Angaben zur Zentriertoleranz und den Toleranzen für Oberflächenunvollkommenheiten zusammengefasst. Ein Beispiel für eine solche Toleranzangabe ist in ISO 10110-1 angegeben.

Wenn zwei oder mehr optische Elemente miteinander zu verkitten (oder angesprengt) sind, gelten die für die Einzelteile angegebenen Oberflächenformtoleranzen auch für die Oberflächen der optischen Baugruppen d.h. nach dem Fügen (oder Ansprengen), wenn nichts anderes angegeben ist (siehe ISO 10110-1).

### 5.3 Struktur der Angaben in einer Tabelle

Als Alternative zu der Spezifikation im Abschnitt 5.2 darf die Toleranz auch in Tabellenform angegeben werden, wie in Tabelle 1 angegeben. Die Spezifikation von diesen Toleranzen muss in Verbindung mit der Pfeilhöhentabelle nach ISO 10110-19 durch Ergänzung weiterer Spalten erfolgen. Die Oberflächenform kann als Unregelmäßigkeit (senkrecht zur Oberfläche) oder als Abweichung entlang der  $z$ -Achse festgelegt werden. Anstiegsabweichungen können in verschiedenen Orientierungen festgelegt werden.

**Tabelle 1 — Pfeilhöhentabelle nach ISO 10110-19 mit zusätzlichen tabellarischen Definitionen für Formtoleranzen**

| .. | .. | $Z$ | $S$ | $\Delta Z$ | $I$ | $\Delta S_{v,w}$ | $RMS \Delta S_{v,w}$ | ... |
|----|----|-----|-----|------------|-----|------------------|----------------------|-----|
|    |    |     |     |            |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     |            |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     | .          |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     | .          |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     | .          |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     |            |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     |            |     |                  |                      |     |
|    |    |     |     |            |     | (G/H)            | (L/M)                |     |

Der Hauptgrund für die Verwendung der tabellarischen Form ist die Möglichkeit, verschiedene Festlegungen für verschiedene Flächen leicht zu definieren. Eine Unterscheidung nach dem Ort auf der Oberfläche ist für alle Parameter möglich.

ANMERKUNG 1 In 5.3 werden dieselben Kennungen für die Größen verwendet wie in 5.2.

Die Werte für die Größe  $\Delta Z$  sind die maximal zulässige Pfeilhöhenabweichung, definiert in 3.2.

Die Werte für die Größe  $I$  legen die maximal zulässige Unregelmäßigkeit  $PV(f_{WI})$  oder  $PV(f_{WI,CY})$  nach ISO 14999-4 fest.

Die Werte für die Größe  $\Delta S_{v,w}$  legen die maximal zulässige Anstiegsabweichung  $\xi_{1-dim}$  und  $\xi_{2-dim}$  nach ISO 14999-4 fest.

Die Werte für die Größe  $RMS \Delta S_{v,w}$  legen die maximal zulässige rms-Anstiegsabweichung  $\xi_{1-dim}$  und  $\xi_{2-dim}$  nach ISO 14999-4 fest.

Die anzuwendenden Werte der Anstiegsabweichung für Abtastlänge/Kantenlänge der Abtastfläche  $G$  für Höchstwerte (max) und  $L$  für rms-Werte ebenso wie das räumliche Abtastintervall  $H$  für Höchstwerte (max) und  $M$  für rms-Werte müssen in die gleiche Spalte in eine zusätzliche Zeile am unteren Ende der Tabelle angefügt werden. Mehrfachangaben/-spalten für Anstiegsabweichungen sind erlaubt. Die Abtastlänge und Kantenlänge der Abtastfläche müssen kleiner sein als die Länge bzw. die Fläche, die durch die Pfeilhöhentabelle definiert ist.

Die Festlegungen gelten immer für die Positionswerte, zu denen sie geschrieben stehen, und den Bereich in Richtung Koordinatenursprung. Die Kombination von Polarkoordinaten, als Bezugsdefinition in der Pfeilhöhentabelle mit einer Festlegung des Anstiegs in kartesischen Koordinaten und umgekehrt ist auch möglich. Dann muss die Position und die Orientierung des Ursprungs des zweiten Koordinatensystems angegeben werden.

## 5.4 Festlegung von Abweichungen in Sätzen von Zernike-Koeffizienten in Tabellenform

Alternativ zu Abschnitt 5.2, können Oberflächenformabweichungen, welche durch einen oder eine Reihe von Zernike Koeffizienten beschrieben werden, auch in einer Tabelle definiert werden (siehe Tabelle 2).

Zusätzlich können mathematische Kombinationen, wie Summen oder komplexere Kombinationen wie Quotienten definiert sein. Peak-to-valley-Werte und rms-Werte können ebenfalls beschrieben werden (siehe ISO 14999-4).

ANMERKUNG In 5.4 werden dieselben Kennungen für die Größen verwendet wie in 5.2.

Die Größen (n,m) für die Größe Z sind eine, ein Satz oder eine mathematische Kombination aus Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4.

Die Größe O ist entweder

- a) der maximal zulässige peak-to-valley-Wert der Oberflächenformabweichung, der durch eine oder durch die kombinierte Funktion einer Reihe von Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4 beschrieben ist, oder
- b) der maximal zulässige Wert der Gleichung, die auf dem peak-to-valley-Wert der verwendeten Zernike-Koeffizienten basiert.

Die Größe P

- a) sind die maximal zulässigen rms-Werte der Oberflächenformabweichung, die durch eine oder durch die kombinierte Funktion einer Reihe von Zernike-Polynomen nach ISO 14999-4 beschrieben sind, oder
- b) der maximal zulässige Wert der Gleichung, die auf dem rms-Wert des verwendeten Zernike-Koeffizienten basiert.

**Tabelle 2 — Festlegung von Abweichungen in Zernike-Koeffizienten in Tabellenform**

| Z      | PV | RMS |
|--------|----|-----|
| Z(n,m) | O  | P   |
|        |    |     |
|        |    |     |

## 6 Beispiele für Toleranzangaben

### 6.1 Beispiele für Angaben basierend auf der Codenummer

BEISPIEL 1

**3/900 nm (250 nm)**

Die Toleranz der Power-Abweichung beträgt 900 nm. Die Unregelmäßigkeit darf 250 nm nicht überschreiten.

BEISPIEL 2

**3/5(—) RMSi < 0,05**

Die Toleranz der Power-Abweichung beträgt 5 Interferenzstreifen. Für die Unregelmäßigkeit oder rotationsinvariante Unregelmäßigkeit sind keine Toleranzen angegeben, aber die rms-Unregelmäßigkeit darf 0,05 Interferenzstreifen nicht überschreiten.