

DIN ISO 14999-4

ICS 37.020

Einsprüche bis 2015-07-22
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 14999-4:2008-12

Entwurf

**Optik und Photonik –
Interferometrische Messung von optischen Elementen und Systemen –
Teil 4: Interpretation und Beurteilung der Toleranzen nach ISO 10110
(ISO/FDIS 14999-4:2015);
Text Deutsch und Englisch**

Optics and photonics –
Interferometric measurement of optical elements and optical systems –
Part 4: Interpretation and evaluation of tolerances specified in ISO 10110
(ISO/FDIS 14999-4:2015);
Text in German and English

Optique et photonique –
Mesurage interférométrique de composants et de systèmes optiques –
Partie 4: Directives pour l'évaluation des tolérances spécifiées dans l'ISO 10110
(ISO/FDIS 14999-4:2015);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-05-22 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 bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nafuo@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter 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 65 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
3.1 Mathematische Definitionen	6
3.2 Definitionen von optischen Funktionen	7
3.3 Definitionen von Werten basierend auf den in 3.2 definierten optischen Funktionen	9
3.4 Definition von Zernike-Polynomen	12
3.5 Definitionen der Funktionen und Terme für Anstiegsabweichungstoleranzen	12
3.6 Definition der Toleranzen für die Anstiegsabweichung	13
4 Bestimmung von Oberflächenformabweichungen oder Wellenfrontdeformationen aus den interferometrischen Messungen	17
4.1 Prüfbereiche	17
4.2 Größen	17
4.3 Wellenfrontdeformationen für einfachen Durchgang (en: single-pass)	17
4.4 Wellenfrontdeformationen für doppelten Durchgang (en: double-pass)	17
4.5 Oberflächenformabweichung	17
4.6 Umrechnung in andere Wellenlängen	17
5 Darstellung der gemessenen Wellenfrontabweichungen mittels Zernike-Koeffizienten	18
6 Tolerierung der Anstiegsabweichung	18
6.1 Eindimensionale Messung der Anstiegsabweichung	19
6.2 zweidimensionale Messung der Anstiegsabweichung	21
Anhang A (normativ) Visuelle Interferogrammauswertung	23
A.1 Allgemeines	23
A.1.1 Vorbemerkungen	23
A.1.2 Interferometrische Kippung (Keilinterferenzen)	23
A.1.3 Bestimmung des Vorzeichens der Deformation	23
A.2 Ermittlung der Power-Abweichung und der Unregelmäßigkeit	24
A.2.1 Allgemeines	24
A.2.2 Auswertung von Interferogrammen ohne Kippung	24
A.2.3 Auswertung von Interferogrammen mit Kippung	26
A.2.4 Ungewöhnliche Formen der Unregelmäßigkeit	27
A.3 Bestimmung der rotationsinvarianten Unregelmäßigkeit	28
A.4 Nicht kreisförmige Prüfbereiche	29
A.5 Zielaberrationen	30
Anhang B (normativ) Zernike-Polynome	31
Literaturhinweise	34

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (ISO/FDIS 14999-4:2015) 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 „Messverfahren für die Optik“ zuständig

ISO 14999 besteht mit dem Haupttitel *Optics and photonics – Interferometric measurement of optical elements and optical systems* aus folgenden Teilen

- *Part 1: Terms, definitions and fundamental relationships*
- *Part 2: Measurement and evaluation techniques*
- *Part 3: Calibration and validation of interferometric test equipment and measurements*
- *Part 4: Interpretation and evaluation of tolerances specified in ISO 10110*

Die Teile 1, 2 und 3 sind als ISO/Technische Reports veröffentlicht.

Für die in Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 10110-5	siehe DIN ISO 10110-5
ISO 10110-14	siehe DIN ISO 10110-14

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung von ISO/FDIS 14999-4 entsprechend der diesbezüglich durch ISO erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 14999-4:2008-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Toleranzen von zylindrischen und torischen Wellenfronten ergänzt;
- b) Darstellung der gemessenen Wellenfrontdeformation mittels Zernike-Koeffizienten ergänzt;
- c) Tolerierung der Anstiegsabweichung ergänzt;
- d) Name der Größe *A* wurde geändert in Power-Abweichung, weitere Informationen siehe 3.3.1, Anmerkung 2 zum Begriff.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 4287, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4287:1997 + Cor 1:1998 + Cor 2:2005 + Amd 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 4287:1998 + AC:2008 + A1:2009*

DIN ISO 10110-5, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 5: Oberflächenformtoleranzen*

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

DIN EN ISO 25178 (alle Teile), *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft*

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 14999 liefert den theoretischen Hintergrund zur Bestimmung der Angaben für ISO 10110-5 und/oder ISO 10110-14.

Eine Tabelle mit einem Vergleich von ISO 10110-5 und ISO 14999-4 hinsichtlich sich entsprechender Nomenklatur, Funktionen und Werte ist in ISO 10110-5, Anhang B, gegeben.

ISO 10110-5 bezieht sich auf Formabweichungen einer optischen Oberfläche^{N1)} und ermöglicht die Festlegung von Toleranzen für bestimmte Arten von Oberflächenformabweichungen ausgedrückt in Nanometer.

ISO 10110-14 bezieht sich auf die Deformationen einer Wellenfront durch ein optisches System im einfachen Durchgang und liefert eine Methode zum Spezifizieren von gleichartigen Typen von Deformationen in „Wellenlängen“.

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° zur Oberfläche) entsteht. Daher ist es möglich, die interferometrische Auswertung einheitlich darzustellen, so dass sie für beide Anwendungen genutzt werden kann. Ein „Interferenzstreifen“ (wie in ISO 10110-5 definiert) entspricht einer Oberflächenformabweichung, die eine Deformation der reflektierten Wellenfront von einer Wellenlänge erzeugt.

Bestimmte Skalierungsfaktoren sind entsprechend dem interferometrischen Aufbau anzuwenden – z. B. wenn der Prüfling im einfachen oder doppelten Durchgang gemessen wird.

Wegen der möglichen Verwechslungsgefahr und der Gefahr von Fehlinterpretationen ist möglichst die Einheit Nanometer anstelle von „Interferenzstreifen“ oder „Wellenlängen“ für die Angabe der Oberflächenformabweichung oder der Wellenfrontdeformation zu verwenden. Wenn die Einheit „Interferenzstreifen“ oder „Wellenlänge“ verwendet wird, muss die zugehörige Wellenlänge festgelegt und mit angegeben werden.

^{N1)} Im deutschen Sprachgebrauch bisher üblicherweise „Passfehler“ genannt.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 14999 gilt für die Interpretation von Daten aus der interferometrischen Messung optischer Bauteile.

Dieser Teil von ISO 14999 gibt Definitionen für die Funktionen und Werte, die zur Spezifikation der Zeichnungsangaben optischer Bauteile und Systeme nach ISO 10110-5 und/oder ISO 10110-14 benötigt werden an. Eine Tabelle mit einem Vergleich von ISO 10110-5 und 14999-4 hinsichtlich sich entsprechender Nomenklatur, Funktionen und Werte ist in ISO 10110-5, Anhang B, gegeben. Er liefert auch eine Anleitung für die interferometrische Auswertung und die visuelle Analyse.

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 10110-5, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 5: Surface form tolerances*

ISO 10110-14, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 14: Wavefront deformation tolerance*

ISO/TR 14999-2, *Optics and photonics — Interferometric measurement of optical elements and optical systems — Part 2: Measurement and evaluation techniques*

3 Begriffe

3.1 Mathematische Definitionen

3.1.1

Funktion

mathematische Darstellung der gemessenen Wellenfrontdeformation und der Komponenten ihrer Zerlegung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Funktionen in diesem Teil von ISO 14999 sind skalare Funktionen.

3.1.2

peak-to-valley-Wert

$PV(f)$

<einer Funktion f > Höchstwert minus Mindestwert der Funktion innerhalb des relevanten Bereichs

3.1.3

quadratischer Mittelwert

$rms(f)$

<einer Funktion f in einem gegebenen Bereich A > ein nach einem der beiden folgenden Integralausdrucke bestimmte Wert:

a) Mit den kartesischen Koordinaten x und y als Variablen:

$$rms(f) = \left[\frac{\iint_{x,y} [f(x,y)]^2 dx dy}{\iint_{x,y} dx dy} \right]^{1/2} \quad \text{mit: } (x,y) \in A$$

b) Mit den Polarkoordinaten r und θ als Variablen:

$$\text{rms}(f) = \left[\frac{\int_{\theta} \int_r [f(r, \theta)]^2 r \, dr \, d\theta}{\int_{\theta} \int_r r \, dr \, d\theta} \right]^{1/2} \quad \text{mit: } (r, \theta) \in A$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Integral darf durch die Standardabweichung angenähert werden, vorausgesetzt, der Mittelwert der Wellenfront (en: piston) wird subtrahiert und die Auflösung der Messung ist angegeben und hinreichend genau.

3.2 Definitionen von optischen Funktionen

Anmerkung 1: Betreffend den Zusammenhang zwischen interferometrischen Messungen und Oberflächenformabweichungen bzw. Wellenfrontdeformation siehe Abschnitt 4.

Anmerkung 2: Die in diesem Abschnitt angegebenen optischen Funktionen werden entweder für rotationsinvariante (sphärische oder asphärische) Wellenfronten (abgebildet in Bild 1) oder zylindrische Wellenfronten (abgebildet in Bild 2) verwendet. Die zueinander korrespondierenden Funktionen sind zusammengefasst, als erstes die Funktionen für rotationsinvariante Wellenfronten und dann die Funktionen für zylindrische Wellenfronten. Die rotationsinvarianten Wellenfronten sind in Bezug auf die ISO 14999-4:2007 unverändert.

Anmerkung 3: Der Begriff zylindrische Wellenfront wird in diesem Fall als ein Synonym für kreiszylindrische, nicht-kreiszylindrische und torische Wellenfronten verwendet. Die Funktionen können auch für asphärische oder allgemeine Wellenfronten verwendet werden, die den zylindrischen oder torischen Wellenfronten ähneln.

3.2.1

gemessene Wellenfrontdeformation

f_{MWD}

Funktion, die den Abstand zwischen einer gemessenen Wellenfront und der nominellen theoretischen Wellenfront beschreibt; der Abstand ist senkrecht zur nominellen theoretischen Wellenfront gemessen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1a) und Bild 2a).

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Fall der taktilen Messung, wo die Messwerte üblicherweise entlang der z-Richtung bestimmt werden, müssen die Messwerte in Wellenfrontdeformation f_{MWD} umgerechnet werden (Abstand senkrecht zur theoretischen Oberfläche).

3.2.2

Kippung

f_{TLT}

Ebenenfunktion mit der besten (im Sinne eines rms-Ausgleichs) linearen Näherung der gemessenen Wellenfrontdeformation f_{MWD}

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1b) und Bild 2b).

3.2.3

Verdrehfunktion beschreibt die Dreh-Fehlausrichtung für zylindrische Wellenfronten

f_{TWST}

Funktion der Sattelform, welche zur Korrektur der Dreh-Fehlausrichtung genutzt wird

$$f_{\text{TWST}}(x, y) = \text{const.} \cdot x \cdot y$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2c).

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Dreh-Fehlausrichtung (en: twist) zwischen der zylindrischen Achse der Testwelle und der Fläche (beziehungsweise zwischen dem Testobjekt und der Optik, welche die zylindrische oder torische Phasenfront generiert oder kompensiert) führt zu einem additiven Term in Form einer Sattelfläche. Dieser Anteil könnte durch sorgfältiges Justieren beseitigt oder minimiert werden. In den meisten Fällen, ist es jedoch einfacher diesen Term mathematisch zu entfernen.

3.2.4**Wellenfrontdeformation** f_{WD}

Funktion nach Subtraktion der Kippung f_{TLT} von der gemessenen Wellenfrontdeformation f_{MWD}

$$f_{WD} = f_{MWD} - f_{TLT}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1c).

3.2.5**Wellenfrontdeformation für zylindrische Wellenfronten** $f_{WD,CY}$

Funktion nach Subtraktion der Kippung f_{TLT} und f_{TWST} von der gemessenen Wellenfrontdeformation f_{MWD}

$$f_{WD,CY}(x, y) = f_{MWD}(x, y) - f_{TLT}(x, y) - f_{TWST}(x, y)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2d).

3.2.6**bestangepasste Kugelfläche** f_{WS}

Funktion einer Kugelfläche, die die Wellenfrontdeformation f_{WD} bestmöglich annähert (im Sinne eines rms-Ausgleichs)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1d).

3.2.7**bestangepasste Kreiszylinderfläche** $f_{WC,x}, f_{WC,y}$

Funktionen einer Kreiszylinderfläche, die die Wellenfrontdeformation $f_{WD,CY}$ bestmöglich annähert (im Sinne eines rms-Ausgleichs)

$$f_{WC,x}(x, y) = R_{x,fit} - \sqrt{R_{x,fit}^2 - x^2} + const.$$

$$f_{WC,y}(x, y) = R_{y,fit} - \sqrt{R_{y,fit}^2 - y^2} + const.$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2e) und Bild 2f).

3.2.8**Unregelmäßigkeit der Wellenfront** f_{WI}

Funktion nach Subtraktion der bestangepassten Kugelfläche f_{WS} von der Wellenfrontdeformation f_{WD}

$$f_{WI} = f_{WD} - f_{WS}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1e).

3.2.9**Unregelmäßigkeit der Wellenfront für zylindrische Wellenfronten** $f_{WI,CY}$

Funktion nach Subtraktion der bestangepassten Kreiszylinderflächen $f_{WC,x}$ und $f_{WC,y}$

$$f_{WI,CY}(x, y) = f_{WD,CY}(x, y) - f_{WC,x}(x, y) - f_{WC,y}(x, y)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2g).

3.2.10**bestangepasste Asphäre an die Wellenfront** f_{WRI}

rotationsinvariante asphärische Funktion, die die Unregelmäßigkeit der Wellenfront f_{WI} bestmöglich annähert (im Sinne eines rms-Ausgleichs)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1f).

3.2.11**bestangepasste Nicht-Kreiszyylinderfläche an die Wellenfront** $f_{WTI,x}, f_{WTI,y}$

translationsinvariante nicht-kreiszyindrische Funktion, die die Unregelmäßigkeit der Wellenfront für zylindrische Wellenfronten $f_{WI,CY}$ in x- bzw. y-Richtung bestmöglich annähert (im Sinne eines rms-Ausgleichs)

$$f_{WTI,x}(x, y) = f_{WTI,x}(x)$$

$$f_{WTI,y}(x, y) = f_{WTI,y}(y)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2h) und Bild 2i).

3.2.12**rotationsvariante Wellenfrontabweichung** f_{WRV}

Funktion nach Subtraktion der bestangepassten Asphäre an die Wellenfront f_{WRI} von der Unregelmäßigkeit der Wellenfront f_{WI}

$$f_{WRV} = f_{WI} - f_{WRI}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1g).

3.2.13**translationsvariante Wellenfrontabweichung** f_{WTV}

Funktion nach Subtraktion der bestangepassten Nicht-Kreiszyylinderflächen an die Wellenfront $f_{WTI,x}$ und $f_{WTI,y}$

$$f_{WTV} = f_{WI,CY} - f_{WTI,x} - f_{WTI,y}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2j).

3.3 Definitionen von Werten basierend auf den in 3.2 definierten optischen Funktionen**3.3.1****Power-Abweichung** $PV(f_{WS})$

peak-to-valley-Wert der bestangepassten Kugelfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WS})$ entspricht der Größe A nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

Anmerkung 2 zum Begriff: In früheren Ausgaben dieses Teils von ISO 14999 wurde der Begriff Pfeilhöhenabweichung benutzt, um diesen Wert zu benennen. Zur besseren Verständlichkeit, wurde der Begriff Pfeilhöhenabweichung durch Power-Abweichung ersetzt, um deutlicher darzustellen, dass dieser Wert senkrecht zur Referenzfläche gemessen ist, wogegen die Pfeilhöhenabweichung parallel zur z-Achse gemessen ist.

3.3.2**Power-Abweichung für zylindrische Wellenfronten** $PV(f_{WC,x}), PV(f_{WC,y})$

peak-to-valley-Wert der bestangepassten Kreiszylinderflächen in x- bzw. y-Richtung

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WC,x})$ entspricht der Größe AX und $PV(f_{WC,y})$ entspricht der Größe AY nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.3**Unregelmäßigkeit** $PV(f_{WI})$

peak-to-valley-Wert der Unregelmäßigkeit der Wellenfront

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WI})$ entspricht der Größe B nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.4**Unregelmäßigkeit für zylindrische Wellenfronten** $PV(f_{WI,CY})$

peak-to-valley-Wert der Unregelmäßigkeit der Wellenfront für zylindrische Wellenfronten

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WI,CY})$ entspricht der Größe B nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.5**rotationsinvariante Unregelmäßigkeit** $PV(f_{WRI})$

peak-to-valley-Wert der bestangepassten Asphäre an die Wellenfront

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WRI})$ entspricht der Größe C nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.6**translationsinvariante Unregelmäßigkeit für zylindrische Wellenfronten** $PV(f_{WTI,x}), PV(f_{WTI,y})$

peak-to-valley-Wert der bestangepassten Nicht-Kreiszylinderfläche an die Wellenfront

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WTI,x})$ entspricht der Größe CX und $PV(f_{WTI,y})$ entspricht der Größe CY nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.7**rotationsvariante Unregelmäßigkeit** $PV(f_{WRV})$

peak-to-valley-Wert der verbleibenden rotationsvarianten Wellenfrontabweichung

3.3.8**translationsvariante Unregelmäßigkeit** $PV(f_{WTV})$

peak-to-valley-Wert der verbleibenden translationsvarianten Wellenfrontabweichung

3.3.9**rms-Wert der Gesamtabweichung** $rms(f_{WD})$

quadratischer Mittelwert der Wellenfrontdeformation

Anmerkung 1 zum Begriff: $rms(f_{WD})$ entspricht der Größe RMSt nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.10

rms-Wert der Gesamtabweichung für zylindrische Wellenfronten

$\text{rms}(f_{\text{WD,CY}})$

quadratischer Mittelwert der Wellenfrontdeformation für zylindrische Wellenfronten

Anmerkung 1 zum Begriff: $\text{rms}(f_{\text{WD,CY}})$ entspricht der Größe RMSt nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.11

rms- Wert der Unregelmäßigkeit

$\text{rms}(f_{\text{WI}})$

quadratischer Mittelwert der Unregelmäßigkeit der Wellenfront

Anmerkung 1 zum Begriff: $\text{rms}(f_{\text{WI}})$ entspricht der Größe RMSi nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.12

rms- Wert der Unregelmäßigkeit für zylindrische Wellenfronten

$\text{rms}(f_{\text{WI,CY}})$

quadratischer Mittelwert der Unregelmäßigkeit der Wellenfront für zylindrische Wellenfronten

Anmerkung 1 zum Begriff: $\text{rms}(f_{\text{WI,CY}})$ entspricht der Größe RMSi nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.13

rms- Wert der rotationsinvarianten Unregelmäßigkeit

$\text{rms}(f_{\text{WRI}})$

quadratischer Mittelwert der bestangepassten Asphäre an die Wellenfront

3.3.14

rms- Wert der translationsinvarianten Unregelmäßigkeit

$\text{rms}(f_{\text{WTI,x}}), \text{rms}(f_{\text{WTI,y}})$

quadratischer Mittelwert der bestangepassten Nicht-Kreiszyylinderfläche an die Wellenfront

3.3.15

Rms-Wert der der rotationsvarianten Unregelmäßigkeit

$\text{rms}(f_{\text{WRV}})$

quadratischer Mittelwert der verbleibenden rotationsvarianten Wellenfrontabweichung

Anmerkung 1 zum Begriff: $\text{rms}(f_{\text{WRV}})$ entspricht der Größe RMSa nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.16

Rms- Wert der der translationsvarianten Unregelmäßigkeit

$\text{rms}(f_{\text{WTV}})$

quadratischer Mittelwert der verbleibenden translationsvarianten Wellenfrontabweichung

Anmerkung 1 zum Begriff: $\text{rms}(f_{\text{WTV}})$ entspricht der Größe RMSa nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.17

peak-to-valley-Abweichung

$\text{PV}(f_{\text{WD}})$

peak-to-valley-Abweichung der Wellenfrontdeformation

Anmerkung 1 zum Begriff: $\text{PV}(f_{\text{WD}})$ entspricht der Größe PV(Q) nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

3.3.18**peak-to-valley-Abweichung für zylindrische Wellenfronten** $PV(f_{WD,CY})$

peak-to-valley-Abweichung der Wellenfrontdeformation für zylindrische Wellenfronten

Anmerkung 1 zum Begriff: $PV(f_{WD,CY})$ entspricht der Größe $PV(Q)$ nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.**3.3.19****Robuste peak-to-valley-Abweichung** $PVr(f_{WD})$

Robuster Wert der Amplitude einer Fläche oder Wellenfront, gemessen mittels eines digitalen Interferometers und berechnet aus dem peak-to-valley-Wert des 36-Term-Zernike-Polynomfits zuzüglich des Dreifachen des quadratischen Mittelwertes des Residuums nach Abzug des Zernike-Polynomfits [4]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Terme $Z(N \leq 10)$ und $Z(12,0)$ aus Anhang B werden für den 36-Term-Fit verwendet.Anmerkung 2 zum Begriff: $PVr(f_{WD})$ entspricht der Größe $PVr(R)$ nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14.

Anmerkung 3 zum Begriff: Diese Festlegung wird nicht für nicht-kreisförmige Flächen empfohlen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die Robuste peak-to-valley-Abweichung ist eine Toleranzangabe, die kürzlich definiert wurde [4] und zunehmend zur Spezifikation genutzt wird.

3.4 Definition von Zernike-Polynomen

Die Zernike-Polynome und deren Referenzierung sind in Anhang B angegeben und sind an ISO/TR 14999-2 angelehnt.

3.5 Definitionen der Funktionen und Terme für Anstiegsabweichungstoleranzen**3.5.1****Funktion nach Trendbereinigung** f_{det} Funktion, die sich nach Trendbereinigung der gemessenen Wellenfrontdeformation f_{MWD} ergibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Toleranz der Anstiegsabweichung beschreibt lokale Oberflächenformabweichungen. Deshalb kann eine Trendbereinigung der Funktion f_{MWD} vor der Berechnung der Anstiegsabweichung nützlich sein. Die Art der Trendbereinigung sollte in der Zeichnung festgelegt sein. Zum Beispiel kann f_{det} durch die Subtraktion des Oberflächenanteils von f_{MWD} , der durch das Zernike-Polynom mit den Koeffizienten $Z(N \leq 8)$ bestimmt ist, berechnet werden oder es kann die bestangepasste Asphäre an die Wellenfront f_{WRI} oder die bestangepasste Nicht-Kreiszyylinderfläche an die Wellenfront $f_{WTI,x}$, $f_{WTI,y}$ für f_{det} verwendet werden. Die Trendbereinigung muss vor der Berechnung der Anstiegsabweichung vorgenommen werden. Dieses Vorgehen ist in Übereinstimmung mit den Betrachtungen in ISO 4287 und ISO 25178.

3.5.2**lokale Anstiegsabweichung für eindimensionale Messungen** $\xi_{1\text{-dim}}$ Winkelabweichung der lokalen Normalen der tatsächlichen (realen) Oberfläche von der Normalen der theoretischen Oberfläche, bestimmt durch eine eindimensionale Messung, wobei x in der Gleichung eine willkürliche Richtung haben kann, wie in der folgenden Gleichung gezeigt:

$$\cos(\xi_{1\text{-dim}}) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{df_{det}}{dx}\right)^2}}$$

3.5.3**lokale Anstiegsabweichung für zweidimensionale Messungen** $\xi_{2\text{-dim}}$

Winkelabweichung der lokalen Normalen der tatsächlichen (realen) Oberfläche von der Normalen der theoretischen Oberfläche, bestimmt durch eine zweidimensionale Messung, wobei x und y in der Gleichung willkürliche Richtungen haben und senkrecht zueinander verlaufen, wie in der folgenden Gleichung gezeigt:

$$\cos(\xi_{2\text{-dim}}) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial f_{\text{det}}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_{\text{det}}}{\partial y}\right)^2}}$$

3.5.4**räumliches Abtastintervall**

Abstand benachbarter Punkte, an denen Werte der Funktion f_{det} gemessen werden, um die Anstiegsabweichung zu bestimmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das räumliche Abtastintervall ist durch die Größen H und M in ISO 10110-5 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: In Abhängigkeit von der verwendeten Messapparatur kann sich der Abstand der Messpunkte geringfügig vom festgelegten räumlichen Abtastintervall unterscheiden. Zur Berechnung der Anstiegsabweichung müssen die gemessenen Werte verwendet werden.

3.5.5**Abtastlänge**

<eindimensionale Anstiegsmessung> Länge, für welche die Funktion f_{det} durch eine Geradenfunktion angenähert wird, um die Anstiegsabweichung im Mittelpunkt des Intervalls der Abtastlänge zu bestimmen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Abtastlänge ist durch die Größen G und L in ISO 10110-5 für eindimensionale Messungen definiert.

3.5.6**Kantenlänge der Abtastfläche**

<zweidimensionale Anstiegsmessung> Seitenlänge des Quadrats, für welches die Funktion f_{det} durch eine Ebenenfunktion angenähert wird, um die Anstiegsabweichung im Mittelpunkt der Abtastfläche zu bestimmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kantenlänge der Abtastfläche ist durch die Größen G und L in ISO 10110-5 für zweidimensionale Messungen definiert.

3.6 Definition der Toleranzen für die Anstiegsabweichung**3.6.1****Maximalwert der Anstiegsabweichung (eindimensionale Messung)** $\max(\xi_{1\text{-dim}})$

Maximalwert der Anstiegsabweichung (für eindimensionale Messungen)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der maximale Wert der Anstiegsabweichung entspricht der Größe F in ISO 10110-5.

3.6.2**Maximalwert der Anstiegsabweichung (zweidimensionale Messung)** $\max(\xi_{2\text{-dim}})$

Maximalwert der Anstiegsabweichung (für zweidimensionale Messungen)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der maximale Wert der Anstiegsabweichung entspricht der Größe F in ISO 10110-5.

3.6.3**rms-Wert der Anstiegsabweichung (eindimensionale Messung)** $\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$

quadratischer Mittelwert der Anstiegsabweichung (für eindimensionale Messungen)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der rms-Wert der Anstiegsabweichung entspricht der Größe K in ISO 10110-5.

3.6.4**rms-Wert der Anstiegsabweichung (zweidimensionale Messung)** $\text{rms}(\xi_{2\text{-dim}})$

quadratischer Mittelwert der Anstiegsabweichung (für zweidimensionale Messungen)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der rms-Wert der Anstiegsabweichung entspricht der Größe K in ISO 10110-5.

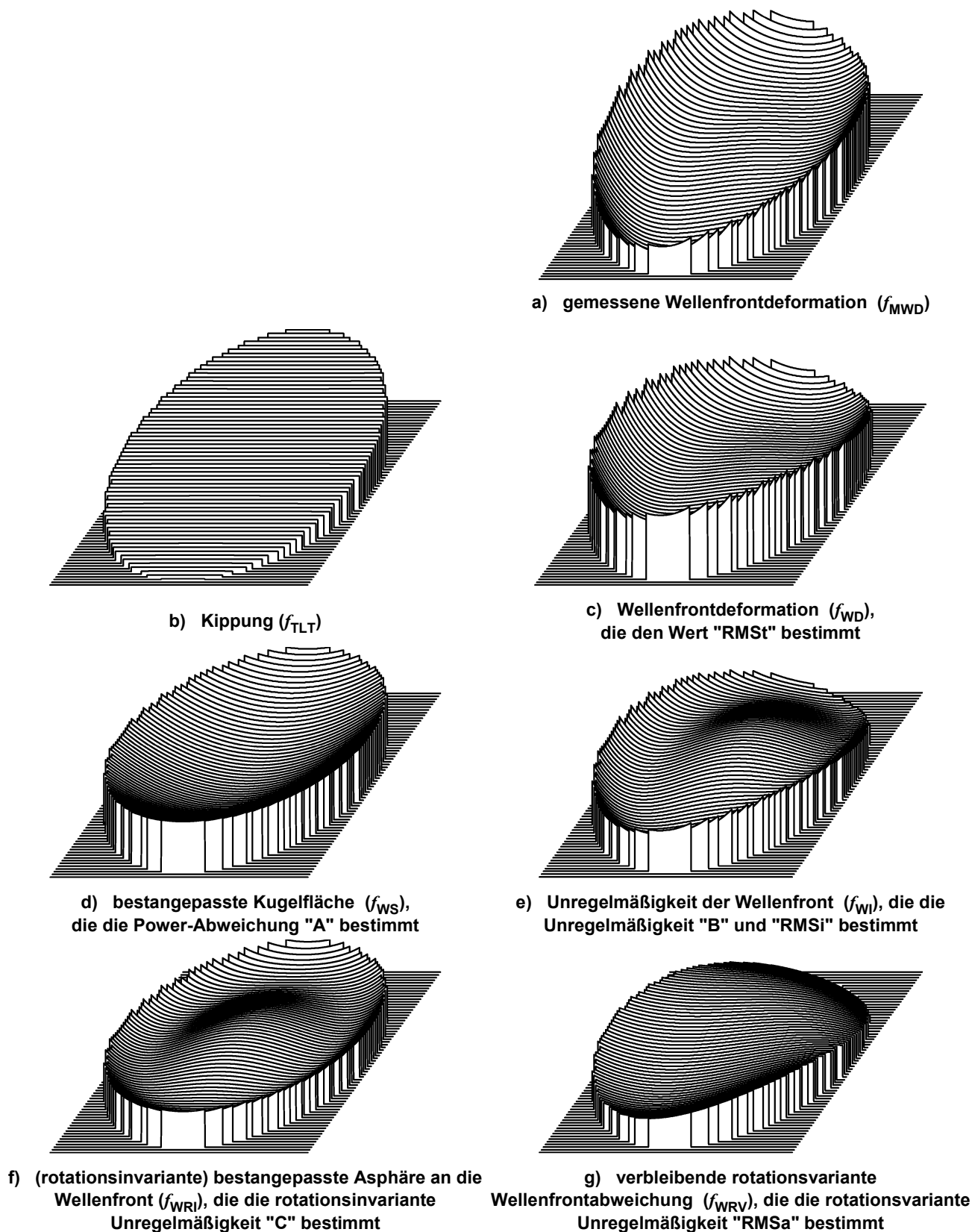


Bild 1 — gemessene Wellenfrontdeformation und ihre Zerlegung in Typen von Wellenfrontdeformationen

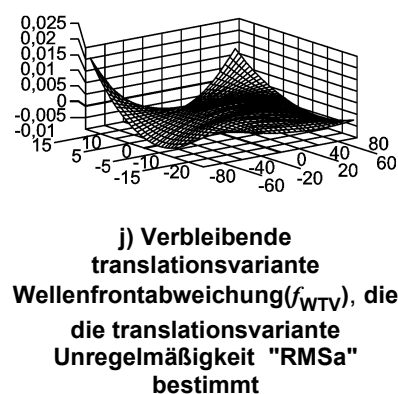
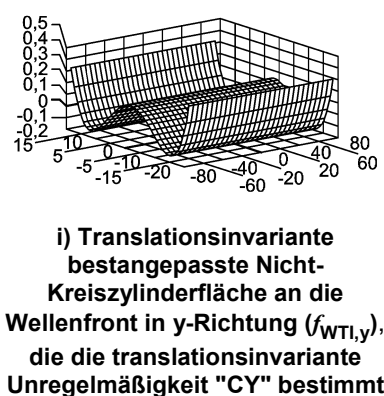
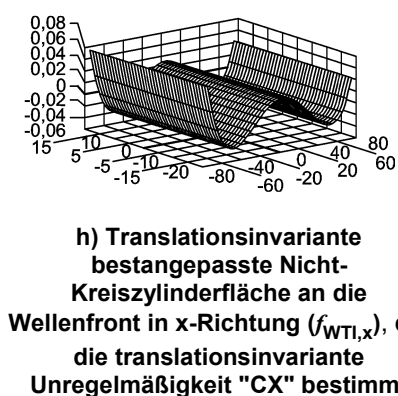
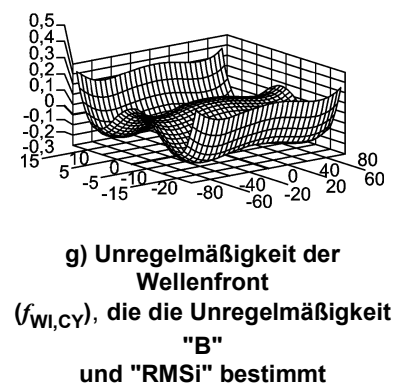
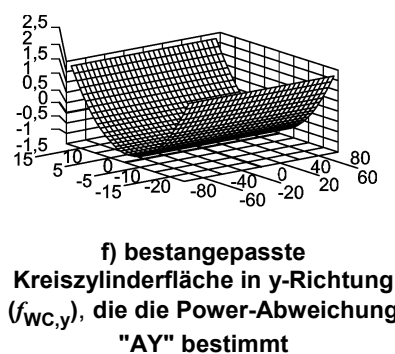
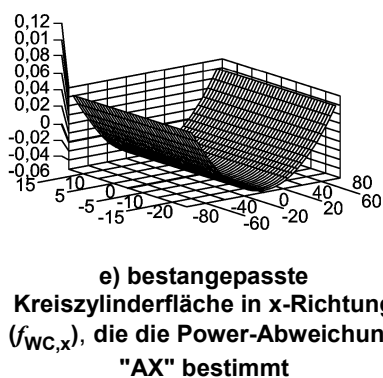
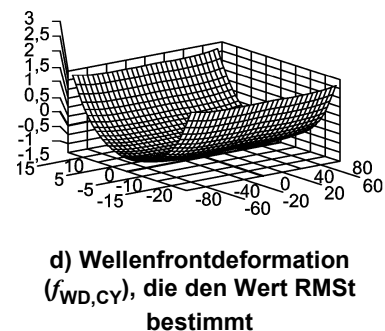
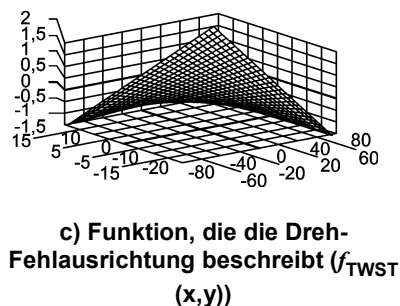
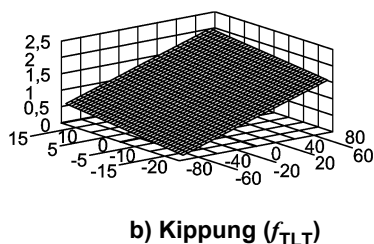
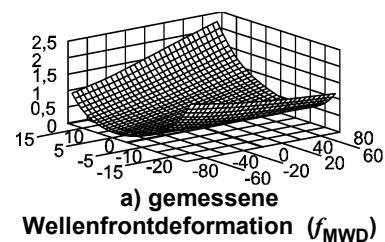


Bild 2 — Gemessene Wellenfrontdeformation für zylindrische und torische Wellenfronten und ihre Zerlegung in Typen von Wellenfrontdeformationen

4 Bestimmung von Oberflächenformabweichungen oder Wellenfrontdeformationen aus den interferometrischen Messungen

4.1 Prüfbereiche

Die in 3.2 definierten Funktionen sind nur innerhalb der spezifizierten Prüfbereiche definiert.

ANMERKUNG Wenn der Prüfbereich nicht-kreisförmig ist, kann die Wellenfrontdeformation nicht in Zernike-Polynome zerlegt werden.

4.2 Größen

Die in 3.3 definierten Größen werden für die Zeichnungsangaben nach ISO 10110-5 und ISO 10110-14 herangezogen, wobei – wie dort festgelegt – als Einheit Interferenzstreifen oder Wellenlängen oder Nanometer verwendet wird, siehe ISO 10110-5 bzw. ISO 10110-14.

Ein optischer Wegunterschied von einer Wellenlänge in der Wellenfront (ein Interferenzstreifen) entspricht einer Oberflächenformabweichung von einer halben Wellenlänge bei Reflexion und senkrechtem Einfall.

4.3 Wellenfrontdeformationen für einfachen Durchgang (en: single-pass)

Die Wellenfrontdeformation, wie in ISO 10110-14 definiert, ist direkt messbar, wenn eine Anordnung in einfachem Durchgang, wie im Mach-Zehnder-Interferometer, gewählt wird, sofern das Interferometer bei der spezifizierten Wellenlänge misst.

4.4 Wellenfrontdeformationen für doppelten Durchgang (en: double-pass)

Anordnungen mit doppeltem Durchgang werden oft benutzt, um die einfache Wellenfrontdeformation von optischen Bauteilen mit „CommonPath“-Instrumenten^{N2)} zu messen. In diesem Fall ist die Empfindlichkeit etwa verdoppelt. Das Messergebnis muss durch zwei geteilt werden, um annähernd die einfache Wellenfrontdeformation zu erhalten.

ANMERKUNG Da Beugungseffekten in beiden Durchgängen auftreten und da die Wellenfrontdeformation des ersten Durchgangs die Abweichungen des zweiten Durchgangs beeinflussen, sind die einfachen Wellenfrontdeformationen nur näherungsweise die Hälfte des interferometrisch gemessenen Wertes.

4.5 Oberflächenformabweichung

Es ist allgemein üblich, die Oberflächenformabweichung interferometrisch als Wellenfrontdeformation zu messen, die bei einfacher Reflexion einer Wellenfront an der zu prüfenden optischen Oberfläche entsteht.

Ein optischer Wegunterschied von einer Wellenlänge (ein Interferenzstreifen) entspricht einer Oberflächenformabweichung von einer halben Wellenlänge bei einfacher Reflexion unter senkrechtem Einfall.

4.6 Umrechnung in andere Wellenlängen

Wenn die Prüfwellenlänge nicht mit der Wellenlänge der Spezifikation übereinstimmt, müssen die Ergebnisse der interferometrischen Messung mit folgender Formel umgerechnet werden:

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

wobei $N_{\lambda 1}$ und $N_{\lambda 2}$ beispielsweise die Anzahl der Interferenzstreifen für die Wellenlängen λ_1 beziehungsweise λ_2 sind.

N2) Nationale Fußnote: Dies ist auch mit anderen Interferometertypen möglich.

5 Darstellung der gemessenen Wellenfrontabweichungen mittels Zernike-Koeffizienten

Bei optischen Bauteilen oder Systemen kann eine detailliertere Toleranzbeschreibung als die in 3.3. angegebene erforderlich sein. Es ist üblich zur Beschreibung von Oberflächen oder Wellenfronten Koeffizienten von orthogonalen Polynomsystemen zu verwenden. Eine detaillierte Beschreibung dieses Ansatzes ist in ISO/TR 14999-2 gegeben. Dieser Teil von ISO 14999 bezieht sich ausschließlich auf Zernike-Koeffizienten für kreisförmige und elliptische Flächen.

Die gemessene Wellenfrontdeformation f_{MWD} kann durch eine analytische Funktion, dargestellt durch eine Anzahl von Zernike-Koeffizienten (siehe ISO/TR 14999-2:2007, Abschnitt 4.8) approximiert werden, die zu einer umfassenden Darstellung führt. Die Zernike-Polynome und die Nomenklatur sind in Anhang B gegeben. Die Koeffizienten dürfen zusätzlich zu den in 3.3 spezifizierten Werten angegeben werden.

Um die Toleranzen der Oberfläche oder der Wellenfront spezifizieren zu können, können das Toleranzband der einzelnen Koeffizienten oder numerische Kombinationen der Koeffizienten erforderlich sein. Außerdem kann der rms-Wert und/oder der peak-to-valley-Wert der Näherungsfunktion, beschrieben durch eine Reihe von Zernike-Polynomen, erforderlich sein. Deshalb wird die Toleranz der Wellenfrontabweichung, welche durch Zernike-Koeffizienten beschrieben ist, definiert durch die peak-to-valley-Werte $PV(Z(n,m))$ oder $PV(Z(N))$, welche $Z(n,m)(PV < O)$ oder $Z(N)(PV < O)$ entsprechen, oder wird definiert durch die quadratischen Mittelwerte $Z(n,m)(RMS < P)$ oder $Z(N)(RMS < P)$ aus ISO 10110-5.

ANMERKUNG 1 Die Einheit der Koeffizienten ist nm.

ANMERKUNG 2 Es ist darauf zu achten, dass die Koeffizienten, welche die Oberflächenform oder die Wellenfront beschreiben, nicht mit den Koeffizienten vertauscht werden, die die Messabweichung f_{MWD} beschreiben.

BEISPIEL Beispiele sind in ISO 10110-5, 5.4.2, angegeben.

6 Tolerierung der Anstiegsabweichung

Auf Grund der lokalen Bearbeitung mit kleinen Werkzeugen, die üblicherweise zur Herstellung von asphärischen Oberflächen genutzt werden, sollte eine zusätzliche Toleranz für die Anstiegsabweichung, die die Welligkeit der Oberfläche begrenzt, eingeführt werden.

Die Toleranz der Anstiegsabweichung beschreibt die lokalen Oberflächenformabweichungen. Daher könnte es sinnvoll sein, einen Trend der Messdaten zu entfernen, bevor die Anstiegsabweichung berechnet wird. Dieses Verfahren sollte in der Zeichnung angegeben werden.

Dieser Teil von ISO 14999 betrachtet den Abstand zwischen der gemessenen und der theoretischen Oberfläche. Der Abstand wird senkrecht zur theoretischen Oberfläche gemessen; das heißt entlang der theoretischen Oberflächennormalen. Daher ist für ein ideales Teil, bei welchem die gemessene Wellenfront die gleiche wie die theoretische Wellenfront ist, der Abstand gleich null für alle Punkte auf der Oberfläche, welche eine Ebene $z = 0$ definieren würde, wobei die Normale für alle Punkte auf der Oberfläche in z-Richtung liegt. Somit, kann die Anstiegsabweichung durch die Gradienten Methode ausgedrückt werden.

Für die Anstiegsabweichung können rms-Werte und die Höchstwerte der Anstiegsabweichung erforderlich sein. Die Toleranz der Anstiegsabweichung ist definiert als der zulässige Höchstwert $\max(\xi_{1\text{-dim}})$ oder $\max(\xi_{2\text{-dim}})$, welcher der Größe $\Delta S_{v,w}(F/G/H)$ in ISO 10110-5 entspricht, oder als quadratischer Mittelwert $\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$ oder $\text{rms}(\xi_{2\text{-dim}})$, welcher der Größe $\text{RMS } \Delta S_{v,w}(K/L/M)$ in ISO 10110-5 entspricht.

Nach ISO 10110-5, ISO 10110-12 und ISO 10110-14 sind in verschiedenen Regionen der Messfläche verschiedene Werte der Anstiegsabweichung erlaubt.

6.1 Eindimensionale Messung der Anstiegsabweichung

Bei Verwendung dieser Art von Toleranzdefinition wird der Anstieg der Oberfläche nur durch eine Linien-Messung bestimmt, was mit taktilen Messungen vereinbar ist. Nichtsdestotrotz bezieht sich die Toleranz der Anstiegsabweichung auf den gesamten Prüfbereich oder das definierte Gebiet. Daher werden keine Start- oder Referenzpunkte angegeben.

Die Messung der Anstiegsabweichung kann in einer oder in verschiedenen Richtungen: willkürlich, in x-, y-, in radialer ρ , oder in tangentialer φ Richtung, erforderlich sein. Siehe Bild 3.

Für die verschiedenen Richtungen der Messung können auch verschiedene Anstiegsabweichungen erforderlich sein (ISO 10110-5, ISO 10110-12, ISO 10110-14).

Tabelle 1 gibt die Angabe der Toleranzwerte für ISO 10110-5 an.

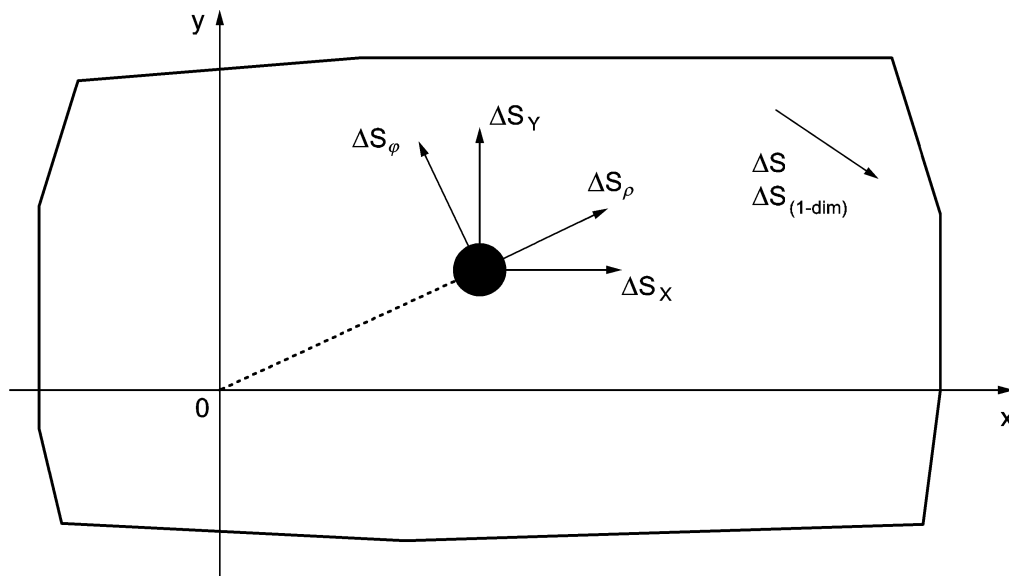
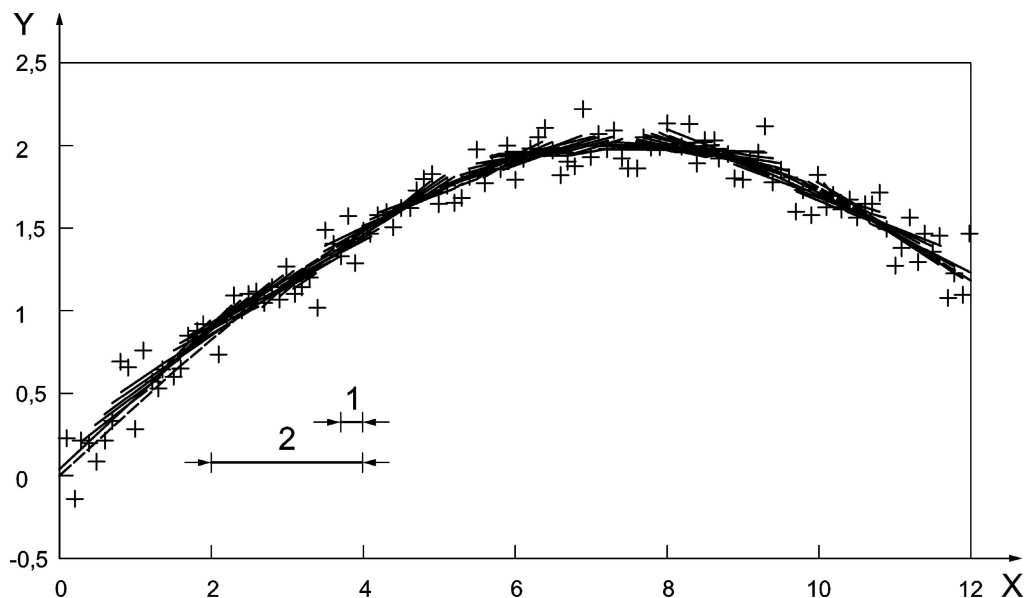


Bild 3 — Richtungen der Anstiegsabweichungen für Linienmessungen

Tabelle 1 — Angabe von Toleranzwerten für eindimensionale Messungen

Messrichtung	Angabe	Werte	Angabe	Werte
Anstiegsabweichung in willkürlicher Richtung	ΔS $\Delta S_{1\text{-dim}}$	$\max(\xi_{1\text{-dim}})$	$\text{RMS}\Delta S$ $\text{RMS}\Delta S_{1\text{-dim}}$	$\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$
Anstiegsabweichung in x-Richtung	ΔS_x	$\max(\xi_{1\text{-dim}})$	$\text{RMS}\Delta S_x$	$\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$
Anstiegsabweichung in y-Richtung	ΔS_y	$\max(\xi_{1\text{-dim}})$	$\text{RMS}\Delta S_y$	$\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$
Anstiegsabweichung in radialer Richtung	ΔS_ρ	$\max(\xi_{1\text{-dim}})$	$\text{RMS}\Delta S_\rho$	$\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$
Anstiegsabweichung in tangentialer Richtung	ΔS_φ	$\max(\xi_{1\text{-dim}})$	$\text{RMS}\Delta S_\varphi$	$\text{rms}(\xi_{1\text{-dim}})$

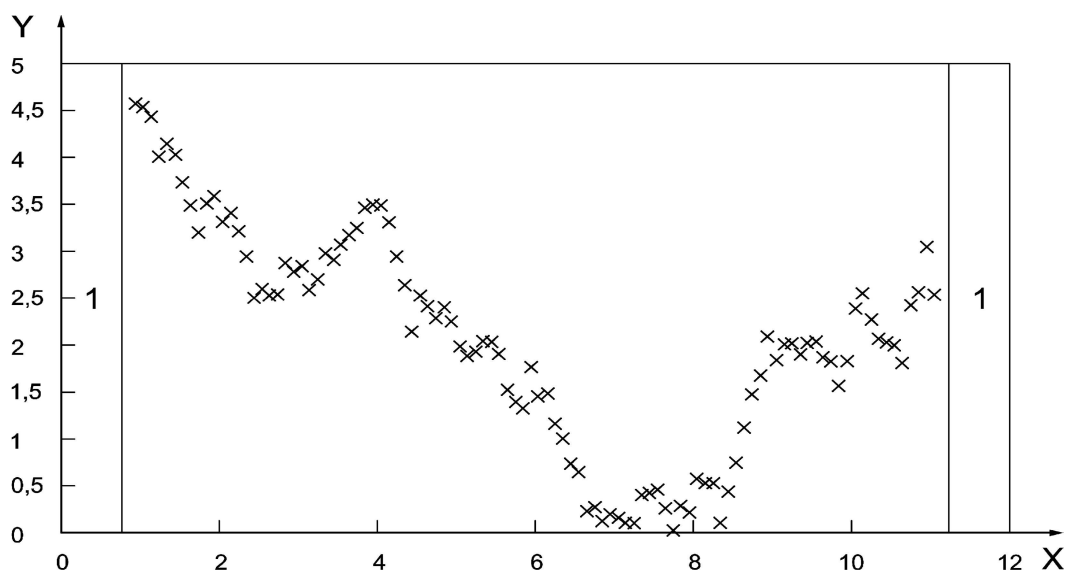
Bei der Verwendung der eindimensionalen Messung wird der Winkel der Oberflächennormalen nur in der Ebene gemessen, die die Messrichtung enthält und senkrecht zur x-y-Ebene ist. Die Messung enthält keine Anstiegsabweichung in der senkrechten Richtung. Daher kann der Wert der Anstiegsabweichung kleiner als der tatsächliche Wert sein.



Legende

- | | | | |
|------|---|---|--------------------------|
| 1 | Räumliches Abtastintervall | X | Laterale Koordinate (mm) |
| 2 | Abtastlänge | Y | f_{det} (μm) |
| ---- | Tatsächliche Oberfläche nach Trendbereinigung | | |
| + | Messwerte nach Trendbereinigung | | |
| — | Geradenfit | | |

Bild 4 — Beispiel für eine ein-dimensionale Anstiegsabweichungsmessung



Legende

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 | Nicht-berechnetes Gebiet |
| X | Laterale Koordinate (mm) |
| Y | Anstiegsabweichung (mrad) |

Bild 5 — Beispiel für eine eindimensionale Anstiegsabweichungsmessung