

DIN EN ISO 24157



ICS 11.040.70

Ersatz für
DIN EN ISO 24157:2008-11

**Augenoptik und ophthalmische Instrumente –
Verfahren zur Darstellung von Abbildungsfehlern des menschlichen Auges
(ISO 24157:2008 + Amd 1:2020);
Deutsche Fassung EN ISO 24157:2008 + A1:2020**

Ophthalmic optics and instruments –
Reporting aberrations of the human eye (ISO 24157:2008 + Amd 1:2020);
German version EN ISO 24157:2008 + A1:2020

Optique et instruments ophtalmiques –
Méthodes de présentation des aberrations de l'oeil humain (ISO 24157:2008 + Amd 1:2020);
Version allemande EN ISO 24157:2008 + A1:2020

Gesamtumfang 42 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 24157:2008 + A1:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 170 „Augenoptik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitskreis NA 027-01-08-06 AK „Ophthalmische Instrumente“ im DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) verantwortlich.

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, angenommen von CEN am 2020-01-01.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen   angezeigt.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 8429 siehe DIN EN ISO 8429

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 24157:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Begriff 3.1 wurde geändert;
- b) Tabelle 1 und Tabelle E.1 wurden überarbeitet;
- c) Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 24157: 2008-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 8429, *Optik und optische Instrumente — Ophthalmologie — Gradbogenschema*

Deutsche Fassung

**Augenoptik und ophthalmische Instrumente —
Verfahren zur Darstellung von Abbildungsfehlern des
menschlichen Auges (ISO 24157:2008 + Amd 1:2020)**

Ophthalmic optics and instruments —
Reporting aberrations of the human eye
(ISO 24157:2008 + Amd 1:2020)

Optique et instruments ophtalmiques —
Méthodes de présentation des aberrations de l'oeil
humain (ISO 24157:2008 + Amd 1:2020)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 29. Mai 2008 angenommen. Die Änderung A1 modifiziert die Europäische Norm EN ISO 24157:2008. Sie wurde vom CEN am 1. Januar 2020 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC-Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Europäisches Vorwort zur Änderung 1	5
Vorwort zur Änderung 1	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Koordinatensystem	12
5 Repräsentation von Wellenfrontdaten	13
5.1 Repräsentation von Wellenfrontdaten mit Koeffizienten von Zernike-Polynomfunktionen	13
5.1.1 Symbole für Zernike-Polynomfunktionen	13
5.1.2 Radialindex	13
5.1.3 Meridionalindex	13
5.1.4 Radialparameter	13
5.1.5 Meridionalparameter	13
5.1.6 Koeffizienten	14
5.1.7 Übliche Namen für Zernike-Polynomfunktionen	14
5.1.8 Vergleich von Zernike-Koeffizienten, die mit unterschiedlichen Aperturgrößen gebildet wurden	15
5.1.9 Repräsentation der Daten von Wellenfrontfehlern, ausgedrückt als Zernike-Koeffizienten, dargestellt in Form von Größe und Achse	15
5.1.10 Übliche Namen für Zernike-Polynomfunktionen – in Form von Größe/Achse	16
5.2 Repräsentation von Wellenfrontdaten in Form von Wellenfront-Gradientenfeldern oder Werten von Wellenfrontfehlerfunktionen	16
5.2.1 Gradientenwerte	16
5.2.2 Werte von Wellenfrontfehlern	17
5.3 Anpassungsfehler des Gradienten	17
6 Präsentationsmöglichkeiten für die Aberrationen des menschlichen Auges	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Aberrationsparameter, dargestellt als normalisierte Zernike-Koeffizienten	18
6.2.1 Angaben zur Apertur	18
6.2.2 Einheiten	18
6.2.3 Ordnen von Ausdrücken	18
6.2.4 Form der Darstellung	19
6.3 Aberrationsparameter, dargestellt als normalisierte Zernike-Koeffizienten, angegeben in Form von Größe/Achse	19
6.3.1 Angaben zur Apertur	19
6.3.2 Einheiten	19
6.3.3 Ordnen von Ausdrücken	19
6.3.4 Darstellung als Tabelle	19
6.4 Aberrationsdaten, dargestellt als topographische Karten	20
6.4.1 Allgemeines	20
6.4.2 Inhalt der Darstellung	20
6.4.3 Genormte Maßstäbe	21

6.4.4	Farbpalette.....	21
6.5	Präsentation von zusammengefassten Aberrationsdaten	21
6.5.1	Allgemeines	21
6.5.2	Analyse und Präsentation von zusammengefassten Aberrationsergebnissen, die auf einem Satz von Zernike-Koeffizienten beruhen.....	22
6.5.3	Analyse und Präsentation von zusammengefassten Aberrationsdaten, bei denen Daten vom linken und rechten Auge verwendet werden	22
Anhang A (informativ) Verfahren zum Generieren von Zernike-Koeffizienten		23
Anhang B (informativ) Umwandlung von Zernike-Koeffizienten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aperturgrößen, Dezentrierung und Drehung des Koordinatensystems		25
B.1	Allgemeines	25
B.2	Umwandlung von Zernike-Koeffizienten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aperturgrößen	25
B.3	Umwandlung von Zernike-Koeffizienten unter Berücksichtigung der Dezentrierung des Koordinatenursprungs.....	27
B.4	Umwandlung von Zernike-Koeffizienten unter Berücksichtigung der Drehung des Koordinatensystems	32
Anhang C (informativ) Umwandlung zwischen Zernike-Koeffizienten, die in unterschiedlicher Notation gegeben sind		34
C.1	Allgemeines	34
C.2	Umwandlung zwischen Koeffizienten der Malacara/Born und Wolf-Reihe und einer Reihe von ISO-24157-Koeffizienten	35
Anhang D (informativ) Computer-Algorithmus zum Generieren von partiellen, abgeleiteten Gewichtungsmatrizen für nicht normalisierte Zernike-Polynomfunktionen.....		36
Anhang E (informativ) Tabelle von normalisierten Zernike-Polynomfunktionen (bis einschließlich 6. radiale Ordnung)		38
Literaturhinweise.....		40

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 24157:2008) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 170 „Augenoptik“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2009 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 24157:2008 wurde vom CEN als EN ISO 24157:2008 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.



Europäisches Vorwort zur Änderung 1

Dieses Dokument (EN ISO 24157:2008/A1:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 170 „Augenoptik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Änderung zur Europäischen Norm EN ISO 24157:2008 muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis August 2020 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 24157:2008/Amd. 1:2020 wurde von CEN als EN ISO 24157:2008/A1:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.





Vorwort zur Änderung 1

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172, *Optics and photonics*, Unterkomitee SC 7, *Ophthalmic optics and instruments*, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt genormte Verfahren zur Darstellung der Aberrationen des menschlichen Auges fest.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 8429, *Optics and optical instruments — Ophthalmology — Graduated dial scale*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe. Die verwendeten Symbole sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

3.1

Fixierlinie

(en US: line of sight; en GB: visual axis)

Strahlengang vom angeblickten Punkt (d. h. Fixationspunkt) im Objektraum zur Mitte der Eintrittspupille des Auges und dessen Fortsetzung im Bildraum von der Mitte der Austrittspupille zum Fixationspunkt auf der Netzhaut (im Allgemeinen die Netzhautgrube)

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese beiden Teile des Strahlengangs sind distinkt und separat.

[QUELLE: ISO 13666:2019, 3.2.24] 

3.2

Zernike-Polynomfunktion

eine aus einer vollständigen Menge von orthogonalen Funktionen, die auf dem Einheitskreis definiert sind als das Produkt von drei Termen: einem Normalisierungsterm, einem Radialterm und einem Meridionalterm in Abhängigkeit von einem dimensionslosen Radialparameter ρ und einem dimensionslosen Winkelparameter θ , gekennzeichnet durch einen nicht negativen radialen ganzzahligen Index n und einen ganzzahligen Meridionalindex m und gegeben durch die Gleichung

$$Z_n^m = N_n^m R_n^{|m|}(\rho) M(m\theta) \quad (1)$$

Dabei ist

N_n^m der Normalisierungsterm;

$R_n^{|m|}$ der Radialterm;

$M(m\theta)$ der Meridionalterm;

der Parameter ρ eine reelle Zahl, die über ihren Bereich von 0 bis 1,0 stetig ist;

der Parameter θ eine reelle Zahl, die über ihren Bereich von 0 bis 2π stetig ist.

ANMERKUNG Bei einem gegebenen Wert des Radialindex n kann der Meridionalindex m nur die Werte $-n, -n+2, \dots, n-2$ und n annehmen.

3.2.1

Radialterm

Term für die Zernike-Polynomfunktion mit den Indizes n und m , gegeben durch die Gleichung

$$R_n^{|m|}(\rho) = \sum_{s=0}^{0,5(n-|m|)} \frac{(-1)^s (n-s)!}{s! [0,5(n+|m|)-s]! [0,5(n-|m|)-s]!} \rho^{n-2s} \quad (2)$$

Dabei ist

s ein ganzzahliger Summationsindex (Inkrement = 1).

3.2.2

Radialparameter

ρ

dimensionslose Zahl, die Werte zwischen 0 und 1 annimmt und deren Wert bei beliebigem radialem Abstand r vom Aperturzentrum gegeben ist durch folgenden Ausdruck

$$p = \frac{r}{a} \quad (3)$$

Dabei ist

a der Wert des Aperturradius.

3.2.3

Meridionalterm

Term für die Zernike-Polynomfunktion mit dem Index m , gegeben durch die Gleichungen

$$M(m\theta) = \cos(m\theta) \text{ wenn } m \geq 0 \quad (4)$$

$$M(m\theta) = \sin(|m|\theta) \text{ wenn } m < 0 \quad (5)$$

ANMERKUNG Der Meridionalterm ist auch unter der Bezeichnung Azimuthalterm bekannt.

3.2.4

Meridionalparameter

θ

Winkelwert, der Werte zwischen 0 und 2π (0° und 360°) annimmt, ausgedrückt in dem Koordinatensystem, das in Abschnitt 4 definiert ist

ANMERKUNG Dieser Winkel wird auch Azimuthalwinkel genannt.

3.2.5

Normalisierungsterm

Term für die Zernike-Polynomfunktion mit den Indizes n und m , der gleich 1,0 ist, wenn die Zernike-Polynomfunktion als „nicht normalisiert“ definiert ist (siehe 3.2.7), und der für den Fall von „normalisierten“ Funktionen (siehe 3.2.6) gegeben ist durch die Gleichung

$$N_n^m = \sqrt{(2-\delta_{0,m})(n+1)} \quad (6)$$

Dabei ist

$$\delta_{0,m} = 1, \text{ für } m = 0 \text{ und } \delta_{0,m} = 0, \text{ für } m \neq 0.$$

3.2.6

normalisierte Zernike-Polynomfunktion

Zernike-Polynomfunktion, deren Normalisierungsterm die in 3.2.5 für „normalisierte“ Funktionen angegebene Form annimmt und die in dem Sinne als orthogonal definiert ist, dass sie die folgende Gleichung erfüllt:

$$\int_0^1 \rho d\rho \int_0^{2\pi} Z_n^m Z_{n'}^{m'} d\theta = \pi \delta_{n,n'} \delta_{m,m'} \quad (7)$$

Dabei ist

$$\delta_{n,n'} = 1, \text{ wenn } n = n', \delta_{n,n'} = 0, \text{ wenn } n \neq n';$$

$$\delta_{m,m'} = 1, \text{ wenn } m = m', \delta_{m,m'} = 0, \text{ wenn } m \neq m'.$$

3.2.7

nicht normalisierte Zernike-Polynomfunktion

Zernike-Polynomfunktion, deren Normalisierungsterm gleich 1,0 ist und die in dem Sinne als orthogonal definiert ist, dass sie die folgende Gleichung erfüllt:

$$(2 - \delta_{0,m})(n+1) \int_0^1 \rho d\rho \int_0^{2\pi} Z_n^m Z_{n'}^{m'} d\theta = \pi \delta_{n,n'} \delta_{m,m'} \quad (8)$$

Dabei ist

$$\delta_{n,n'} = 1, \text{ wenn } n = n', \delta_{n,n'} = 0, \text{ wenn } n \neq n';$$

$$\delta_{m,m'} = 1, \text{ wenn } m = m', \delta_{m,m'} = 0, \text{ wenn } m \neq m';$$

$$\delta_{0,m} = 1, \text{ wenn } m = 0, \delta_{0,m} = 0, \text{ wenn } m \neq 0.$$

3.2.8

Ordnung

Wert des Radialindex n einer Zernike-Polynomfunktion

3.3

Zernike-Koeffizient

Element einer Menge von reellen Zahlen c_n^m , das mit der zugehörigen Zernike-Funktion multipliziert wird. Anschließend werden diese Terme zu einer Summe zusammengefasst, deren Wert gleich der besten Abschätzung der Oberfläche $S(\rho, \theta)$ ist, die mit Zernike-Termen angepasst wurde. Eine derartige Summe ist repräsentiert durch

$$S(\rho, \theta) = \sum_{\text{alle } n \text{ und } m} c_n^m Z_n^m \quad (9)$$

ANMERKUNG 1 Jede Menge von Zernike-Koeffizienten ist mit dem Aperturdurchmesser assoziiert, der bei der Berechnung der Koeffizienten aus den Höhendaten verwendet wurde. Ohne diese Aperturangabe ist diese Reihe unvollständig.

ANMERKUNG 2 Anhang A gibt Informationen über ein Verfahren zur Bestimmung der Zernike-Koeffizienten aus den Daten des Anstiegs (Gradienten) einer Wellenfront.

3.3.1

normalisierter Zernike-Koeffizient

Zernike-Koeffizient, generiert mit normalisierten Zernike-Funktionen und so ausgelegt, dass er mit ihnen benutzt werden kann, um die Oberfläche zu rekonstruieren

ANMERKUNG Normalisierte Zernike-Koeffizienten haben die Maßeinheit der Länge.

3.3.2

nicht normalisierter Zernike-Koeffizient

Zernike-Koeffizient, generiert mit nicht normalisierten Zernike-Funktionen und so ausgelegt, dass er mit ihnen benutzt werden kann, um die Oberfläche zu rekonstruieren

ANMERKUNG Nicht normalisierte Zernike-Koeffizienten haben die Maßeinheit der Länge.

3.4

Wellenfrontaberrationen (eines Auges)

$W(x,y)$ oder $W(r,\theta)$

optische Weglänge (d. h. physikalischer Abstand mal Brechungsindex) zwischen einer ebenen Wellenfront in der Eintrittspupille des Auges und der Wellenfront, die von einer punktförmigen Quelle auf der Netzhaut erzeugt wird und als eine Funktion der Wellenfrontaberrationen über den (x,y) - bzw. (r,θ) -Koordinaten der Eintrittspupille festgelegt ist

ANMERKUNG 1 Der Wellenfrontfehler wird in axialer Richtung von der Pupillenebene gegen die Wellenfront gemessen (d. h. parallel zu der in Abschnitt 4 festgelegten z-Achse).

ANMERKUNG 2 Nach der Konvention (Übereinkunft) wird der Wellenfrontfehler im Pupillenzentrum auf Null gesetzt, indem der Zentralwert von den Werten an allen übrigen Pupillenpositionen subtrahiert wird.

ANMERKUNG 3 Der Wellenfrontfehler hat die physikalische Einheit Meter (gewöhnlich angegeben in Mikrometer) und gehört zu einer festgelegten Wellenlänge.

3.5

Differenz der optischen Weglänge

OPD

(en: optical path-length difference)

negativer Wert des Wellenfrontfehlers (3.4) an jedem Punkt in einer Wellenfront, der die Korrektur der optischen Weglänge repräsentiert, die zum Korrigieren des Wellenfrontfehlers notwendig ist

3.6

mittlerer quadratischer Wellenfrontfehler

RMS-Wellenfrontfehler

(en: root mean square wavefront error)

<eines Auges> Größe, berechnet als Quadratwurzel der Varianz der Wellenfrontfehlerfunktion (3.4) und definiert als

$$RMS_{WFE} = \sqrt{\frac{\iint_{\text{Pupille}} [W(x,y)]^2 dx dy}{A}} \quad (10)$$

Dabei ist

A die Fläche der Pupille;

oder, wenn die Funktion des Wellenfrontfehlers in Hinsicht auf normalisierte Zernike-Koeffizienten ausgedrückt wird, Größe, berechnet als Quadratwurzel der Summe der Quadrate der Koeffizienten mit Radialindizes 2 oder größer.

$$RMS_{WFE} = \sqrt{\sum_{n>1, \text{ alle } m} (c_n^m)^2} \quad (11)$$

ANMERKUNG 1 Piston (Konstante) und mittlere Kippung (Tilt) sollten von dieser Berechnung ausgeschlossen sein, weil sie eher mit der seitlichen Verschiebung des Bildes korrespondieren als mit der Verschlechterung an sich.

ANMERKUNG 2 Der RMS-Fehler kann auch mit der diskreten Menge der Wellenfrontfehler, die zur Errechnung der Zernike-Koeffizienten eingesetzt wurden, und statistischen Normverfahren ermittelt werden. Es kann sein, dass dieser RMS-Wert nicht genau mit dem Wert zusammenpasst, der mit der oben angegebenen Gleichung ermittelt wird. Dies kann besonders dann auftreten, wenn die Positionen in der Pupille zur Berechnung des Wellenfrontfehlers auf einem ungleichmäßig unterteilten Gitternetz liegen. In diesem Fall führt die Berechnung nicht zu einem vollständigen Satz von diskreten, orthogonalen Zernike-Funktionen.

3.7

Aberrationen höherer Ordnung

Aberrationen, die zusätzlich zu sphäro-zylindrischen Brechungsfehlern und prismatischen Fehlern auftreten, und die folglich, wenn der Wellenfrontfehler in Hinblick auf Koeffizienten von Zernike-Polynomfunktionen ausgedrückt wird, die der 3. Ordnung und höher sind

3.8

Wellenfrontgradient

$\partial W(x,y)$

Vektor, der die Werte des Wellenfrontgradienten $\partial W(x,y)/\partial x$ und $\partial W(x,y)/\partial y$ an den Positionen x und y angibt, die, wenn sie als Terme der Koeffizienten von Zernike-Polynomen ausgedrückt werden, gegeben sind durch:

$$\frac{\partial W(x,y)}{\partial x} = \sum_{\text{alle } n \text{ und } m} c_n^m \frac{\partial Z_n^m(x,y)}{\partial x} \text{ und } \frac{\partial W(x,y)}{\partial y} = \sum_{\text{alle } n \text{ und } m} c_n^m \frac{\partial Z_n^m(x,y)}{\partial y} \quad (12)$$

ANMERKUNG Die an den Positionen x und y gemessenen Gradientenwerte werden durch $\beta_x(x,y)$ und $\beta_y(x,y)$ bezeichnet.