

DIN EN ISO 15367-2

ICS 31.260

**Laser und Laseranlagen –
Prüfverfahren für die Bestimmung der Wellenfrontform von
Laserstrahlen –
Teil 2: Shack-Hartmann-Sensoren (ISO 15367-2:2005);
Deutsche Fassung EN ISO 15367-2:2005**

Lasers and laser-related equipment –
Test methods for determination of the shape of a laser beam wavefront –
Part 2: Shack-Hartmann sensors (ISO 15367-2:2005);
German version EN ISO 15367-2:2005

Lasers et équipements associés aux lasers –
Méthodes d'essai pour la détermination de la forme du front d'onde du faisceau laser –
Partie 2: Senseurs Shack-Hartmann (ISO 15367-2:2005);
Version allemande EN ISO 15367-2:2005

Gesamtumfang 26 Seiten

Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ (Sekretariat: Deutschland) aus der Arbeit des ISO/TC 172/SC 9 „Elektrooptische Systeme“ übernommen.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist im Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) hierfür der AK 1 „Begriffe, Prüfgeräte und Prüfverfahren“ des AA O 18 „Laser“ zuständig.

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

ISO 11145	siehe DIN EN ISO 11145
ISO 13694	siehe DIN EN ISO 13694
ISO 15367-1	siehe DIN EN ISO 15367-1

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 11145, *Optik und optische Instrumente — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen*

DIN EN ISO 13694, *Optik und optische Instrumente — Laser und Laseranlagen — Prüfverfahren für die Leistungs-(Energie-)dichteverteilung von Laserstrahlen*

DIN EN ISO 15367-1, *Laser und Laseranlagen — Prüfverfahren für die Bestimmung der Wellenfrontform von Laserstrahlen — Teil 1: Begriffe und grundlegende Aspekte (ISO 15367-1:2003)*

Deutsche Fassung

**Laser und Laseranlagen
Prüfverfahren für die Bestimmung der Wellenfrontform von
Laserstrahlen
Teil 2: Shack-Hartmann-Sensoren
(ISO 15367-2:2005)**

Lasers and laser-related equipment —
Test methods for determination of the shape of a laser
beam wavefront —
Part 2: Shack-Hartmann sensors
(ISO 15367-2:2005)

Lasers et équipements associés aux lasers —
Méthodes d'essai pour la détermination de la forme du
front d'onde du faisceau laser —
Partie 2: Senseurs Shack-Hartmann
(ISO 15367-2:2005)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. Februar 2005 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 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 Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

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



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe.....	5
4 Symbole und Einheiten	7
5 Prüfprinzip bei Hartmann- und Shack-Hartmann-Wellenfrontsensoren	8
6 Messanordnung und Prüfverfahren	8
6.1 Allgemeines	8
6.2 Detektorsystem	9
6.3 Messung.....	11
6.4 Kalibrierung	12
7 Auswertung der Wellenfrontgradienten	13
7.1 Untergrundabzug	13
7.2 Auswertung.....	13
8 Rekonstruktion der Wellenfront	14
8.1 Allgemeines	14
8.2 Direkte numerische Integration (Zonenverfahren)	14
8.3 Modale Wellenfrontrekonstruktion.....	15
9 Wellenfrontdarstellung	16
10 Messunsicherheit.....	16
10.1 Allgemeines	16
10.2 Statistische Messfehler	16
10.3 Umgebungseinflüsse	17
10.4 Mängel in der Datenerfassung	17
10.5 Messunsicherheiten durch geometrische Fehlausrichtung.....	17
11 Prüfbericht	18
Anhang A (informativ) Rekonstruktion der Wellenfront	21
A.1 Differenzenschemen	21
A.2 Normalgleichungen.....	22
Anhang B (informativ) Zernike-Polynome zur Darstellung von Wellenfronten	23
Literaturhinweise.....	24

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 15367-2:2005) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Lasers and photonics“ 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 September 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2005 zurückgezogen werden.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 15367-2:2005 wurde vom CEN als EN ISO 15367-2:2005 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Eine Charakterisierung des Strahlausbreitungsverhaltens ist in vielen Bereichen der Lasersystementwicklung und der industriellen Laseranwendungen notwendig. Zum Beispiel hängt die Gestaltung des Resonators oder der strahlauSENDenden Optik in starkem Maß von den genauen und umfassenden Informationen über die Richtungsverteilung der ausgesendeten Strahlung ab. Eine Online-Aufzeichnung der Wellenfront eines Laserstrahls kann auch zur Optimierung der Fokussierbarkeit des Strahles in Verbindung mit adaptiver Optik dienen. Andere relevante Gebiete sind die Überwachung und mögliche Verminderung der thermischen Linseneffekte, die Online-Resonatoreinstellung, laserbezogene Sicherheitsüberlegungen oder das Prüfen von Optiken bei der Einsatz-Wellenlänge, einschließlich Zernike-Analyse.

Für die Ausbreitung eines Laserstrahls sind folgende vier Gruppen von Parametern relevant:

Leistungs–(Energie-)dichteverteilung (ISO 13694),

- Strahlabbmessung, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahl (ISO 11146-1 und ISO 11146-2),
- Wellenfrontverteilung (Phasen-) (ISO 15367-1 und dieser Teil der ISO 15367),
- räumliche Strahlkohärenz (derzeit keine aktuelle Norm).

Im Allgemeinen erfordert eine vollständige Charakterisierung die Kenntnis der wechselseitigen Kohärenzfunktion oder der spektralen Dichtefunktion in mindestens einer transversalen Ebene. Obgleich die Bestimmung dieser Verteilungen möglich ist, ist der experimentelle Aufwand groß und es sind noch keine Messgeräte für diese physikalischen Größen im Handel erhältlich. Aus diesem Grund erweitert sich der Anwendungsbereich dieser Norm nicht auf eine derartige universelle Strahlbeschreibung, sondern ist auf die Messung der Wellenfront, die äquivalent zur Phasenverteilung im Fall eines räumlich kohärenten Strahls ist, beschränkt. Daraus folgt, dass eine genaue Voraussage der Strahlausbreitung nur im Grenzfall hoher räumlicher Kohärenz erzielt werden kann.

Eine Reihe von Messgeräten für Phasen- oder Wellenfrontgradienten können die Wellenfront- oder Phasenverteilung bestimmen. Zu diesen gehören, ohne dabei alle zu nennen, das Shearing-Interferometer, der Hartmann- und der Shack-Hartmann-Wellenfrontsensor sowie das Moiré-Ablenkungsmessgerät. Diese Messgeräte messen entweder die Gradienten der Wellenfront oder der Phase, aus denen die zweidimensionale Phasenverteilung rekonstruiert werden kann.

Im vorliegenden Dokument werden nur Hartmann- und Shack-Hartmann-Wellenfrontsensoren im Detail betrachtet, da mit diesen Sensoren sowohl die Wellenfront von vollständig kohärenten als auch von teilweise kohärenten Strahlen gemessen werden kann. Im Handel ist eine beträchtliche Anzahl derartiger Geräte erhältlich.

Die Hauptvorteile der Hartmanntechnik sind:

- der große dynamische Bereich,
- die hohe optische Effizienz,
- die Eignung für teilweise kohärente Strahlen,
- keine Anforderung an die spektrale Reinheit,
- keine Zweideutigkeit hinsichtlich des 2π -Inkrementes im Phasenwinkel,
- die Wellenfronten können in einer Einzelmessung erfasst/analysiert werden.

Geräte, die die Phase oder die Wellenfront direkt messen können, wie z. B. Selbstreferenz-Interferometer, liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Teiles der ISO 15367.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 15367 legt die Verfahren für die Messung und Auswertung der Wellenfrontverteilungsfunktion in einer transversalen Ebene eines Laserstrahls unter Verwendung von Hartmann- oder Shack-Hartmann-Wellenfrontsensoren fest. Dieser Teil der ISO 15367 ist für vollständig kohärente, teilweise kohärente und allgemein astigmatische Laserstrahlen sowohl bei Dauerstrichbetrieb als auch bei gepulstem Betrieb anwendbar.

Des Weiteren werden sowohl für die zonale als auch die modale Rekonstruktion der zweidimensionalen Wellenfrontverteilung zuverlässige numerische Verfahren zusammen mit deren Messunsicherheit beschrieben. Die Kenntnis der Wellenfrontverteilung ermöglicht die Bestimmung einer Reihe von Wellenfrontparametern, die in ISO 15367-1 definiert sind.

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 11145, *Optics and optical instruments — Lasers and laser-related equipment — Vocabulary and symbols*

ISO 13694, *Optics and optical instruments — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power (energy) density distribution*

ISO 15367-1:2003, *Lasers and laser-related equipment — Test methods for determination of the shape of a laser beam wavefront — Part 1: Terminology and fundamental aspects*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 11145 und ISO 15367-1 sowie die folgenden Begriffe.

3.1

Arrayelement-Abstand

d_x, d_y

Abstand zwischen den Mittelpunkten benachbarter Löcher oder Mikrolinsen in x - und y -Richtung

3.2

Subaperturschirm-Detektor-Abstand

L_H

Abstand zwischen dem Subaperturschirm (Mikrolinsenarray oder Hartmann-Schirm) und der Detektoranordnung

ANMERKUNG Bei Shack-Hartmann-Sensoren wird dieser Abstand häufig auf die Brennweite der Mikrolinsen eingestellt.

3.3

Brennweite der Mikrolinsen

f

Brennweite der Mikrolinsen für einen Shack-Hartmann-Sensor

3.4

Subaperturabmessung

d_s

Abmessung der Apertur der Löcher eines Hartmann-Schirms bzw. der Mikrolinsen eines Shack-Hartmann-Arrays

3.5

Winkeldynamikbereich

$\beta_{\max}$

größter anwendbarer Winkelbereich der Hartmann- oder Shack-Hartmann-Sensoren

ANMERKUNG Für rechteckige Aperturen ist der Winkeldynamikbereich gegeben durch

$$\beta_{\max} = \frac{d_x}{2L_H} - \frac{\lambda}{d_x}$$

3.6

Wiederholgenauigkeit der Wellenfrontmessung

$w_{r,rms}$

effektive (r.m.s.) Differenz zwischen aufeinander folgenden Einzelmessungen $w_n(x,y)$ derselben Wellenfront und der mittleren Wellenfront $\bar{w}(x,y)$

$$w_{r,rms} = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k \sqrt{\frac{\sum_x \sum_y E_n(x,y) [w_n(x,y) - \bar{w}(x,y)]^2}{\sum_x \sum_y E_n(x,y)} - \left(\frac{\sum_x \sum_y E_n(x,y) [w_n(x,y) - \bar{w}(x,y)]}{\sum_x \sum_y E_n(x,y)} \right)^2}$$

Dabei ist

n die Nummer der Messung;

k die Anzahl der Abtastungen;

$$\bar{w}(x,y) = \frac{\sum_{n=1}^k E_n(x,y) \cdot w_n(x,y)}{\sum_{n=1}^k E_n(x,y)}$$

3.7

Messunsicherheit der Wellenfrontmessung

$w_{a,rms}$

Mittelwert der effektiven (r.m.s.) Differenz zwischen einer Bezugswellenfront w_r und der neigungskorrigierten Wellenfront $w_{tc,n}$, nachdem unterschiedlich starke Neigungen θ_n auf die Bezugswellenfront angewendet wurden

$$w_{a,rms} = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k \sqrt{\frac{\sum_x \sum_y E_n(x,y) [w_{tc,n}(x,y) - w_r(x,y)]^2}{\sum_x \sum_y E_n(x,y)}}$$

Dabei ist

n die n -te Messung der Wellenfront mit der angewendeten Neigung $\theta_{x,n}$ und $\theta_{y,n}$;

k die Anzahl der genommenen Abtastungen;

$w_{tc,n}(x,y)$ die neigungskorrigierte Wellenfront w_{tc} : $w_{tc,n}(x,y) = w_n(x,y) - \theta_{x,n}x - \theta_{y,n}y$

ANMERKUNG Siehe auch ISO 15367-1:2003, 3.4.7.