

DIN EN ISO 13695



ICS 31.260; 37.020

Einsprüche bis 2024-10-23
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 13695:2004-09

Entwurf

**Optik und Photonik –
Laser und Laseranlagen –
Prüfverfahren für die spektralen Kenngrößen von Lasern
(ISO/FDIS 13695:2024);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 13695:2024**

Optics and photonics –
Lasers and laser-related equipment –
Test methods for the spectral characteristics of lasers (ISO/FDIS 13695:2024);
German and English version prEN ISO 13695:2024

Optique et photonique –
Lasers et équipement associé aux lasers –
Méthodes d'essai des caractéristiques spectrales des lasers (ISO/FDIS 13695:2024);
Version allemande et anglaise prEN ISO 13695:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-08-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe 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/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe 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), Alexander-Wellendorff-Str. 2, 75172 Pforzheim.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 67 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN ISO 13695:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 027-01-18 AA „Laser und elektro-optische Systeme“ im DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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

ISO 11145	siehe	DIN EN ISO 11145
ISO 12005	siehe	DIN EN ISO 12005
IEC 60747-5-1	siehe	DIN EN 60747-5-1 (VDE 0884-1) (zurückgezogen)

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 13695:2004-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionelle Änderungen im Zusammenhang mit dem neuen Format;
- b) das Symbol für das Seitenmodenunterdrückungsverhältnis wurde von SMS in R_{SMS} geändert;
- c) lg wurde in 3.15 in $\log_{10}$ geändert;
- d) der Titel des SC 9 wurde aktualisiert;
- e) die Intensität wurde zu Bestrahlungsstärke geändert;
- f) in den Literaturhinweisen [2] aktualisiert und durch [2] und [3] ersetzt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 11145, *Optik und Photonik — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen*
(ISO 11145:2018); Deutsche Fassung EN ISO 11145:2018

DIN EN ISO 12005, *Laser und Laseranlagen — Prüfverfahren für Laserstrahlparameter — Polarisation*
(ISO 12005:2022); Deutsche Fassung EN ISO 12005:2022

DIN EN 60747-5-1 (VDE 0884-1) (zurückgezogen), *Einzel-Halbleiterbauelemente und integrierte Schaltungen — Teil 5-1: Optoelektronische Bauelemente; Allgemeines*
(IEC 60747-5-1:1997 + A1:2001 + A2:2002); Deutsche Fassung EN 60747-5-1:2001 + A1:2002 + A2:2002

– Leerseite –

August 2024

prEN ISO 13695

**Optik und Photonik – Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für die spektralen
Kenngrößen von Lasern (ISO/FDIS 13695:2024)**

Optics and photonics – Lasers and laser-related equipment – Test methods for the spectral characteristics of lasers (ISO/FDIS 13695:2024)

Optique et photonique – Lasers et équipement associé aux lasers – Méthodes d'essai des caractéristiques spectrales des lasers (ISO/FDIS 13695:2024)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole	15
5 Rückführbarkeit	16
6 Messung der Wellenlänge und der Bandbreite	16
6.1 Allgemeines	16
6.1.1 Vorbereitungen	16
6.1.2 Übliche Lasertypen	16
6.2 Arten der Messungen	17
6.2.1 Allgemeines	17
6.2.2 Messungen mit geringer Genauigkeit	17
6.2.3 Messungen mit mittlerer Genauigkeit	17
6.2.4 Messungen mit hoher Genauigkeit	17
6.3 Auswahl der Einrichtung	18
6.4 Messungen in Luft	18
6.5 Messungen mit geringer Auflösung	20
6.5.1 Kurzbeschreibung	20
6.5.2 Durchführung der Messung	20
6.5.3 Analyse	20
6.6 Messung mit höherer Auflösung	21
6.6.1 Allgemeines	21
6.6.2 Vorversuch	21
6.6.3 Messung mit Gitterspektrometer	21
6.6.4 Messung mit Interferometer	22
6.6.5 Messung mit photoelektrischen Mischverfahren	23
6.6.6 Analyse mit mittlerer Genauigkeit $U_{\lambda}/\lambda = U_{\nu}/\nu$ im Bereich 10^{-5} bis 10^{-4}	24
6.6.7 Analyse mit hoher Genauigkeit $U_{\lambda}/\lambda = U_{\nu}/\nu < 10^{-5}$	24
7 Messung der Wellenlängenstabilität	25
7.1 Abhängigkeit der Wellenlänge von den Betriebsbedingungen	25
7.2 Wellenlängenstabilität eines Einmoden-Lasers	25
8 Prüfbericht	25
Anhang A (informativ) Brechzahl der Luft	28
A.1 Bestimmung des Teildrucks von Wasserdampf	28
A.2 Berechnung der Brechzahl über einen breiten Bereich von Wellenlängen und atmosphärischen Bedingungen mit hoher Genauigkeit	28
A.3 Alternative Normalbedingungen	28
Anhang B (informativ) Kriterien zur Auswahl eines Gittermonochromators und seiner Zubehörteile — Kalibrierung	29
B.1 Einleitung	29
B.1.1 Allgemeines	29
B.1.2 Theoretisches Auflösungsvermögen	29
B.1.3 Praktisches Auflösungsvermögen	29
B.1.4 Holographischer Gittermonochromator	30
B.1.5 Blaze-Gittermonochromator (mit bestimmtem Bereich maximaler Intensität)	30
B.2 Auswahl des Monochromators	31
B.3 Kalibrierung des Monochromators	31
Anhang C (informativ) Kriterien für die Auswahl eines Fabry-Perot-Interferometers	32

Literaturhinweise 33

Bilder

Bild 1 — Spektrale Kenndaten von Lasern — Darstellung der definierten Parameter 12
Bild 2 — Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis 13

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13695:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/FDIS 13695:2024 wurde von CEN als prEN ISO 13695:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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 Directives, 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 Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO [eine/keine] Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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 9, *Lasers and electro-optical systems* erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 13695:2004), die geringfügig geändert wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- redaktionelle Änderungen im Zusammenhang mit dem neuen Format
- das Symbol für das Seitenmode Unterdrückungsverhältnis wurde von SMS in R_{SMS} geändert
- lg wurde in 3.15 in $\log_{10}$ geändert.
- der Titel des SC 9 wurde aktualisiert.
- die Intensität wurde zu Bestrahlungsstärke angepasst.
- in den Literaturhinweisen wurde die Referenz [2] aktualisiert und durch die Referenzen [2] und [3] ersetzt.

E DIN EN ISO 13695:2024-09
prEN ISO 13695:2024 (D)

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.

Einleitung

Die Kenntnis der spektralen Kenndaten eines Lasers, z. B. seiner Spitzenwellenlänge oder seiner Spektrallinienbreite, ist für mögliche Anwendungen des Lasers von Bedeutung. Als Beispiele werden die spezifischen Anforderungen an eine Anwendung in der Interferometrie und der Lithographie genannt. In diesem Dokument werden Schlüsselparameter definiert, die zur Beschreibung der spektralen Kenndaten eines Lasers dienen, und es werden Anleitungen für die Durchführung von Messungen zur Bestimmung dieser Parameter für die üblichen Lasertypen vermittelt.

Das zulässige Unsicherheitsniveau bei Messung der Wellenlänge schwankt in Abhängigkeit von der vorgesehenen Anwendung. Daher werden für die Auswahl der Einrichtung und für die Mess- und Bewertungsverfahren drei Genauigkeitsklassen festgelegt. Um die Angabe der Messergebnisse für die spektralen Kenndaten zu vereinheitlichen, wird ein Beispiel für einen Prüfbericht angegeben.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden Verfahren festgelegt, mit deren Hilfe spektrale Kenndaten gemessen werden können, z. B. Wellenlänge, Bandbreite, spektrale Verteilung und Wellenlängenstabilität eines Laserstrahls. Dieses Dokument ist sowohl auf Dauerstrichlaserstrahlen (cw) als auch auf Puls laserstrahlen anwendbar. Die Abhängigkeit der spektralen Kenndaten eines Lasers von den vorliegenden Betriebsbedingungen kann ebenfalls von Bedeutung sein.

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

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

IEC 60747-5-1, *Discrete semiconductor devices and integrated circuits — Part 5-1: Optoelectronic devices — General*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die Begriffe nach ISO 11145, ISO/IEC Guide 99 und IEC 60747-5-1 sowie die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Wellenlänge im Vakuum

λ_0

Wellenlänge einer unendlichen, ebenen elektromagnetischen Welle, die sich im Vakuum ausbreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Für eine Welle mit der Frequenz f ergibt sich für die Wellenlänge im Vakuum $\lambda_0 = c/f$, wobei $c = 299792458$ m/s ist.

3.2

Wellenlänge in Luft

λ_{Luft}

Wellenlänge von Strahlung, die sich in Luft ausbreitet und die mit der Wellenlänge im Vakuum durch folgenden Zusammenhang verknüpft ist:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \lambda_0 / n_{\text{Luft}}$$

Dabei ist n_{Luft} die Brechzahl der Umgebungsluft (siehe 6.4)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die spezifischen Eigenschaften der Umgebungsluft, z. B. Feuchte, Druck, Temperatur und Zusammensetzung, nehmen Einfluss auf n_{Luft} . Daher ist es vorteilhafter, die Wellenlänge im Vakuum oder in Normalluft anzugeben. Diese Wellenlängen können aus λ_{Luft} und n_{Luft} nach der in 6.4 angegebenen Gleichung errechnet werden.

3.3

Wellenlänge in trockener Luft unter Normalbedingungen

λ_{norm}

Wellenlänge von Strahlung, die sich in trockener Luft (0 % Feuchte) unter Normalbedingungen ausbreitet und die mit der Wellenlänge im Vakuum λ_0 durch folgenden Zusammenhang verknüpft ist:

$$\lambda_{\text{norm}} = \lambda_0 / n_{\text{norm}}$$

Dabei ist n_{norm} die Brechzahl der Luft unter Normalbedingungen (siehe 6.4)

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Rahmen dieser Internationalen Norm gilt die in 6.4 angegebenen Definition für Luft unter Normalbedingungen. Es ist zu beachten, dass in der Literatur verschiedene andere Normalbedingungen angegeben werden. Daher ist es notwendig, die festgelegten Normalbedingungen im Prüfbericht anzugeben.

3.4

spektrale Strahlungsleistungs-(-energie-)verteilung

$P_\lambda(\lambda)$, $[Q_\lambda(\lambda)]$

Strahlungsleistung $dP(\lambda)$ [oder für Puls laser: Strahlungsenergie $dQ(\lambda)$], die von einem Laserstrahl im Wellenlängenbereich $d\lambda$ übertragen wird, dividiert durch diesen Wellenlängenbereich:

$$P_\lambda(\lambda) = \frac{dP(\lambda)}{d\lambda} \quad \left[Q_\lambda(\lambda) = \frac{dQ(\lambda)}{d\lambda} \right]$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vom Laserstrahl für eine beliebige Bandbreite von $\lambda_{\text{niedr.}}$ bis λ_{hoch} gelieferte Strahlungsleistung (Strahlungsenergie) wird durch das folgende Integral angegeben:

$$P = \int_{\lambda_{\text{niedr.}}}^{\lambda_{\text{hoch}}} P_\lambda(\lambda) d\lambda \quad \left[Q = \int_{\lambda_{\text{niedr.}}}^{\lambda_{\text{hoch}}} Q_\lambda(\lambda) d\lambda \right]$$

3.5

Spitzen-Emissionswellenlänge

λ_p

Wellenlänge, bei der die spektrale Strahlungsleistungs-(-energie-)verteilung ihren maximalen Wert hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.6

gewichtete mittlere Wellenlänge (erstes Moment)

λ_g

Wellenlänge, die den Schwerpunkt der spektralen Strahlungsleistungs-(-energie-)verteilung repräsentiert und durch folgende Gleichung definiert wird:

$$\lambda_g = \frac{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} \lambda S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} S(\lambda) d\lambda}$$

Dabei ist $S(\lambda)$ für einen Dauerstrichlaser (cw-Laser) die spektrale Strahlungsleistungsverteilung $P_\lambda(\lambda)$ bzw. für einen Puls laser die spektrale Strahlungsenergieverteilung $Q_\lambda(\lambda)$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Zur Wahl der Integrationsgrenzen λ_{min} und λ_{max} siehe 6.2.2.

3.7

Zentralwellenlänge

$\bar{\lambda}$

gewogener Mittelwert der Wellenlängen der Spektrallinien oder Schwingungsmoden:

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=i_{\min}}^{i=i_{\max}} I_i \lambda_i}{\sum_{i=i_{\min}}^{i=i_{\max}} I_i}$$

Dabei ist

λ_i die Wellenlänge der i -ten Spektrallinie oder der i -ten Schwingungsmode;

I_i die relative Strahlungsleistung der i -ten Spektrallinie oder der i -ten Schwingungsmode;

$i_{\min}, i_{\max}$ die extremen Spektrallinien oder Moden unter- und oberhalb von λ_p

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Grenzen für die Summierung werden üblicherweise so ausgewählt, dass die relative Strahlungsleistung der Spektrallinien oder Moden außerhalb dieser Grenzen weniger als 1 % der relativen Strahlungsleistung der stärksten bei λ_p ermittelten Linie oder Mode beträgt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition ist besonders für Laser mit mehreren Schwingungsmoden (Multimode-Laser) vorteilhaft.

3.8

mittlere Wellenlänge

λ_{mittl}

Quotient aus der Lichtgeschwindigkeit c und der mittleren optischen Emissionsfrequenz f_{mittl}

$$\lambda_{\text{mittl}} = c/f_{\text{mittl}}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die mittlere optische Emissionsfrequenz f_{mittl} kann direkt gemessen werden, z. B. nach dem Überlagerungsverfahren (siehe 6.6.5).

3.9

quadratischer Mittelwert der spektralen Strahlungsbandbreite (zweites Moment)

$\Delta\lambda$

zweites Moment der spektralen Strahlungsleistungs-(-energie-)verteilung, definiert durch folgende Gleichung:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} (\lambda - \lambda_g)^2 S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} S(\lambda) d\lambda}}$$

Dabei ist $S(\lambda)$ für einen Dauerstrichlaser (cw-Laser) die spektrale Strahlungsleistungsverteilung $P_\lambda(\lambda)$ bzw. für einen Puls laser die spektrale Strahlungsenergieverteilung $Q_\lambda(\lambda)$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Zur Wahl der Integrationsgrenzen $\lambda_{\min}$ und $\lambda_{\max}$ siehe 6.2.2.

3.10

quadratischer Mittelwert der spektralen Bandbreite

$\Delta\lambda_{\text{rms}}$

der quadratische Mittelwert der spektralen Bandbreite wird durch folgende Gleichung definiert:

$$\Delta\lambda_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=i_{\min}}^{i=i_{\max}} I_i (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{\sum_{i=i_{\min}}^{i=i_{\max}} I_i}}$$

Dabei ist

- λ_i die Wellenlänge der i -ten Spektrallinie oder der i -ten Schwingungsmode;
 I_i die relative Strahlungsleistung der i -ten Spektrallinie oder der i -ten Schwingungsmode;
 $\bar{\lambda}$ die Zentralwellenlänge;
 $i_{\min}, i_{\max}$ die extremen Spektrallinien oder Moden unter- und oberhalb von λ_p .

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Grenzen für die Summierung werden üblicherweise so ausgewählt, dass die relative Strahlungsleistung der Spektrallinien oder Moden außerhalb dieser Grenzen weniger als 1 % der relativen Strahlungsleistung der stärksten bei λ_p ermittelten Linie oder Mode beträgt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Diese Definition ist besonders für Laser mit mehreren Schwingungsmoden vorteilhaft.

3.11

spektrale Bandbreite

FWHM

$\Delta\lambda_H$

maximale Differenz zwischen den Wellenlängen, für die die spektrale Strahlungsleistungs-(-energie-)verteilung der Hälfte des Spitzenwertes entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: In Anlehnung an ISO 11145.

3.12

spektrale Linienbreite

FWHM

$\Delta\lambda_L$

maximale Differenz zwischen den Wellenlängen innerhalb von $\delta\lambda$, für die die spektrale Strahlungsleistungs-(-energie-)verteilung der Hälfte des Spitzenwertes entspricht, der innerhalb von $\delta\lambda$ gefunden wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Vergleiche **spektrale Bandbreite** (3.11), $\Delta\lambda_H$

Anmerkung 3 zum Begriff: Die spektrale Linienbreite ist analog zur spektralen Bandbreite (3.11) zu verstehen, jedoch definiert für eine einzelne (longitudinale) Mode oder für ein auf andere Weise klar unterscheidbares und benennbares und im Intervall $\delta\lambda$ enthaltenes Wesensmerkmal.

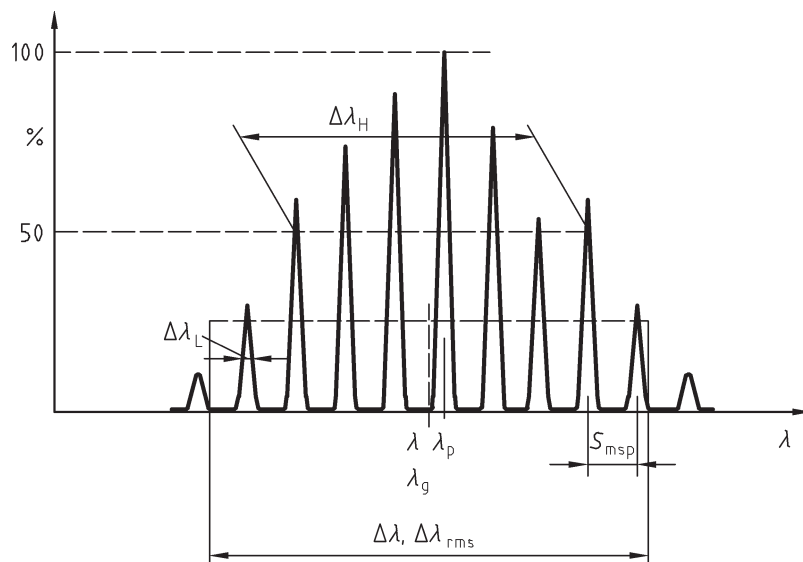
3.13

Modenabstand

$F_{\text{Mode-Abst.}}$ [$S_{\text{Mode-Abst.}}$]

Trennung zweier benachbarter longitudinaler Moden, angegeben mit Hilfe der Frequenz ($F_{\text{Mode-Abst.}}$) [Wellenlänge ($S_{\text{Mode-Abst.}}$)]

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.



Legende

λ Wellenlänge

Bild 1 — Spektrale Kenndaten von Lasern — Darstellung der definierten Parameter

3.14

Anzahl der longitudinalen Moden

N_m

Anzahl der longitudinalen Moden innerhalb einer bestimmten Bandbreite, im Allgemeinen innerhalb des quadratischen Mittelwertes der spektralen Bandbreite $\Delta\lambda_{\text{rms}}$

3.15

Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis

R_{SMS}

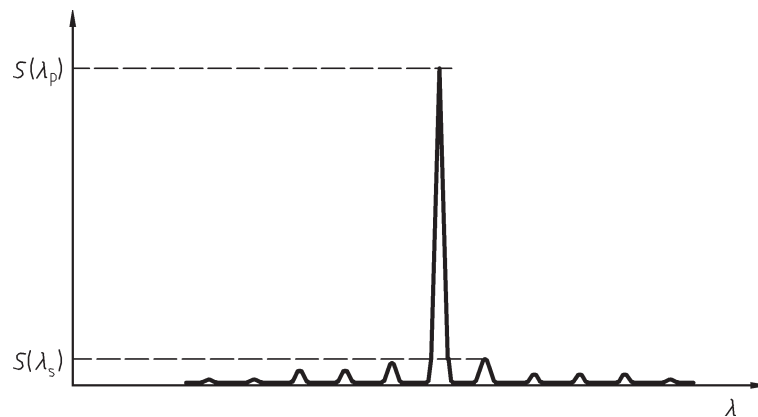
Verhältnis der relativen Strahlungsleistung der intensivsten Mode, I_p , die bei λ_p liegt, zur relativen Strahlungsleistung der zweitintensivsten Mode, I_s , die bei λ_s liegt:

$$R_{\text{SMS}} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_p}{I_s} \right)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.

Anmerkung 2 zum Begriff: In der Praxis kann davon ausgegangen werden, dass die R_{SMS} dem Verhältnis der Spitzenwerte der spektralen Verteilung für die intensivsten und die zweitintensivsten Moden entspricht:

$$R_{\text{SMS}} = 10 \log_{10} \left(\frac{S(\lambda_p)}{S(\lambda_s)} \right)$$



Legende

λ Wellenlänge

Bild 2 — Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis

3.16

Pulsfolgefrequenz

f_p

für einen wiederholt gepulsten Laser die Anzahl der Laserpulse je Sekunde

3.17

Temperaturabhängigkeit der Wellenlänge

$\delta\lambda_T$

Wellenlängenverschiebung für jede Änderung der Temperatur T des Lasers

$$\delta\lambda_T = \frac{d\lambda}{dT}$$

3.18

Stromabhängigkeit der Wellenlänge

$\delta\lambda_c$

Wellenlängenverschiebung für jede Änderung des Laserstroms I

$$\delta\lambda_c = \frac{d\lambda}{dI}$$

3.19

Allan-Varianz für einen Dauerstrichlaser

$\sigma_y^2(2, \tau)$

zweifache Stichprobenvarianz der Frequenzschwankungen für eine mittlere Dauer von τ Sekunden. Sie wird durch folgende Gleichung definiert:

$$\sigma_y^2(2, \tau) = \left\langle \frac{[\bar{y}(k+1) - \bar{y}(k)]^2}{2} \right\rangle$$

Wobei

$\langle \rangle$ den Mittelwert eines unendlichen Datensatzes kennzeichnet;

$\bar{y}(k)$ die k -te Messung von $\bar{y}$ in diesem Datensatz ist;

$\bar{y}$ durch Mittelung von $y(t)$ über ein Zeitintervall τ erhalten wird.

E DIN EN ISO 13695:2024-09
prEN ISO 13695:2024 (D)

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Frequenzmessungen ist die relative Abweichung $\nu(t)$ gegeben durch

$$\nu(t) = [\nu(t) - \nu_0] / \nu_0$$

Dabei ist

$\nu(t)$ die momentane Frequenz;

ν_0 die nominale Frequenz.

Die Messintervalle haben alle die gleiche Dauer τ , und es gibt keine Totzeit zwischen den aufeinander folgenden Messintervallen. Für Zeiten $\tau < 100$ s muss der Datensatz aus mindestens 100 Daten bestehen, für längere Zeiten für τ darf die Datenanzahl verringert werden, muss dann jedoch im Prüfbericht angegeben werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: $\bar{\nu}$ darf mit Hilfe von Überlagerungsmessungen bestimmt werden, wobei eine Frequenzdifferenz $\Delta\nu$ über ein Intervall τ integriert und auf die Oszillationsfrequenz ν_0 normiert wird.

Anmerkung 3 zum Begriff: Da $y = \Delta\nu/\nu = -\Delta\lambda/\lambda$ ist, dient $\sigma_y^2(2, \tau)$ gleichzeitig als Maß für die Stabilität von Frequenz und Wellenlänge.

Anmerkung 4 zum Begriff: Weitere Einzelheiten siehe [1] in den Literaturhinweisen.

3.20

optische Übertragungsfunktion des Gerätes

$R(\lambda, \lambda_0)$

die Empfindlichkeit, d. h. das Austrittssignal des Gerätes bei Einstellung einer Wellenlänge λ zu einem monochromatischen Eintritt der Wellenlänge λ_0

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen ist $R(\lambda, \lambda_0)$ über den Wellenlängenbereich des Gerätes von der Eintrittswellenlänge λ_0 nahezu unabhängig, so dass das zweite Argument entfallen kann. Für ein vorschriftsmäßig eingestelltes Gerät sollte das erste Moment der optischen Übertragungsfunktion $R(\lambda, \lambda_0)$, das durch folgende Gleichung definiert wird:

$$\lambda_g = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \lambda R(\lambda, \lambda_0) d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} R(\lambda, \lambda_0) d\lambda}$$

gleich der Eingangswellenlänge sein: $\lambda_g = \lambda_0$.

3.21

effektive spektrale Bandbreite des Gerätes

$\Delta\lambda_{\text{ins}}(\lambda_0)$

zweites Moment der optischen Übertragungsfunktion des Gerätes $R(\lambda, \lambda_0)$, das durch folgende Gleichung definiert wird:

$$\Delta\lambda_{\text{ins}}(\lambda_0) = \sqrt{\frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} (\lambda - \lambda_g)^2 R(\lambda, \lambda_0) d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} R(\lambda, \lambda_0) d\lambda}}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Falls, wie im Allgemeinen vorausgesetzt wird, $R(\lambda, \lambda_0)$ und damit $\Delta\lambda_{\text{ins}}(\lambda_0)$ annähernd unabhängig von der Eingangswellenlänge λ_0 sind, wird die effektive Bandbreite λ_{ins} ohne Argument verwendet.

4 Symbole

Symbol	Einheit	Benennung
$F_{\text{Mode-Abst.}}$	Hz	Modeabstand im Frequenzbereich
f_p	Hz	Pulsfolgefrequenz
N_m		Anzahl der longitudinalen Moden
n_{Luft}		Brechzahl der Umgebungsluft
n_{norm}		Brechzahl der trockenen Luft unter Normalbedingungen
P_λ	W/m	Spektrale Strahlungsleistungsverteilung
Q_λ	Ws/m	Spektrale Strahlungsenergieverteilung
$R(\lambda, \lambda_0)$	1/m	Optische Übertragungsfunktion des Gerätes
$S_{\text{Mode-Abst.}}$	m	Modeabstand im Wellenlängenbereich
$S(\lambda)$		Spektrale Strahlungsleistung $P_\lambda(\lambda)$ im Falle eines Dauerstrichlasers oder spektrale Strahlungsenergieverteilung $Q_\lambda(\lambda)$ im Falle eines Puls lasers
R_{SMS}	dB	Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis
U_X		Erweiterte Standardunsicherheit für die Messgröße X
$\delta\lambda_T$	m/K	Temperaturabhängigkeit der Wellenlänge
$\delta\lambda_c$	m/A	Stromabhängigkeit der Wellenlänge
λ	m	Wellenlänge
λ_0	m	Wellenlänge im Vakuum
λ_{Luft}	m	Wellenlänge in Luft
λ_{mittl}	m	Mittlere Wellenlänge
λ_g	m	Gewichtete mittlere Wellenlänge
λ_p	m	Spitzen-Emissionswellenlänge
λ_{norm}	m	Wellenlänge in trockener Luft unter Normalbedingungen
$\bar{\lambda}$	m	Zentralwellenlänge
$\Delta\lambda$	m	Quadratischer Mittelwert der spektralen Strahlungsbandbreite (zweites Moment)
$\Delta\lambda_H$	m	Spektrale Bandbreite (FWHM)
$\Delta\lambda_{\text{ins}}$	m	Effektive spektrale Bandbreite des Gerätes
$\Delta\lambda_L$	m	Spektrale Linienbreite (FWHM)
$\Delta\lambda_{\text{gemessen}}$	m	Gemessene spektrale Strahlungsbandbreite (zweites Moment)
$\Delta\lambda_{\text{rms}}$	m	Quadratischer Mittelwert der spektralen Bandbreite
ν	Hz	Frequenz der Welle
ν_{FSR}	Hz	Freier Spektralbereich (FSR) des Fabry-Perot (FP) Interferometers
$\sigma_y^2(2, \tau)$		Allan-Varianz zur Kennzeichnung der Wellenlängenstabilität eines cw-Lasers
τ_H	s	Pulsdauer

5 Rückführbarkeit

Alle Messergebnisse müssen auf SI-Einheiten zurückzuführen sein. Beispielsweise muss die Wellenlänge nach einem der vom Internationalen Komitee für Massen und Maße (CIPM) festgelegten Verfahren auf das Meter zurückzuführen sein.

ANMERKUNG Für das Meter wird diese Rückführbarkeit üblicherweise durch Anwendung einer vom CIPM empfohlenen Bezugswellenlänge erreicht — Einzelheiten siehe [2] [3] in den Literaturhinweisen.

6 Messung der Wellenlänge und der Bandbreite

6.1 Allgemeines

6.1.1 Vorbereitungen

In Abhängigkeit von den spektralen Kenndaten, der vorgesehenen Anwendung des Lasers und vom geforderten Unsicherheitsniveau U_λ oder U_ν (wie in GUM definiert) bei Messung der Wellenlänge (oder Frequenz) des Lasers, $U_\lambda/\lambda = U_\nu/\nu$, müssen unterschiedliche Parameter untersucht werden, siehe 6.2.

Für einen Laser mit unbekannten Kenndaten sollte eine Funktionsprüfung vorgenommen werden, um geeignete Geräte und die für die Messung am besten geeigneten Parameter auszuwählen.

In diesem Dokument wird vorausgesetzt, dass die spektralen Kenndaten des Laserstrahls über die räumlich verteilte Leistung (Energie) gleich sind. Ist das nicht der Fall, könnten mit Hilfe begrenzender Öffnungen Messungen mit räumlicher Auflösung durchgeführt werden.

Als Richtlinie wird die Anwendung von drei Prüfniveaus vorgeschlagen, siehe 6.2.

6.1.2 Übliche Lasertypen

Die Auswahl der Parameter, die zur Kennzeichnung der spektralen Kenndaten eines Lasers am besten geeignet sind, ist vom Typ des Lasers abhängig. Übliche Lasertypen sind:

- a) Laser mit großer Bandbreite, z. B. Puls laser oder Multimode-Laser, mit signifikant und rasch schwankenden Moden;
- b) Multimode-Laser mit einer über den interessierende Zeitmaßstab stabilen Modestruktur;
- c) Einmoden-Laser.

Für diese drei Lasertypen wird die Anwendung folgender Parameter empfohlen:

— für Laser mit großer Bandbreite:

gewichtete mittlere Wellenlänge (erstes Moment) λ_g , quadratischer Mittelwert der spektralen Strahlungsbandbreite (zweites Moment) $\Delta\lambda$ oder der spektralen Bandbreite (FWHM) $\Delta\lambda_H$; Abhängigkeit der Wellenlänge, $\delta\lambda_T$ und/oder $\delta\lambda_C$, von den Betriebsparametern Temperatur und/oder Durchlassstrom;

— für Multimode-Laser:

Zentralwellenlänge $\bar{\lambda}$, quadratischer Mittelwert der spektralen Bandbreite $\Delta\lambda_{rms}$, Modeabstand $F_{\text{Mode-Abst.}}$ (Frequenzbereich) oder $S_{\text{Mode-Abst.}}$ (Wellenlängenbereich), Anzahl der longitudinalen Moden innerhalb einer festgelegten Bandbreite N_m ; Abhängigkeit der Wellenlänge, $\delta\lambda_T$ und/oder $\delta\lambda_C$, von den Betriebsparametern Temperatur und/oder Durchlassstrom;

— für Einmoden-Laser:

Spitzenwellenlänge λ_p oder mittlere Wellenlänge λ_{mittl} und Spektrallinienbreite $\Delta\lambda_L$ und Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis R_{SMS} ; Abhängigkeit der Wellenlänge, $\delta\lambda_T$ und/oder $\delta\lambda_c$, von den Betriebsparametern Temperatur und/oder Durchlassstrom; Allan-Varianz $\sigma_y^2(2, \tau)$ als Maß für die Wellenlängenstabilität.

6.2 Arten der Messungen

6.2.1 Allgemeines

Es wird vorausgesetzt, dass die spektralen Kenndaten der Laser während der Dauer der Messungen stabil sind, wozu möglicherweise mehrere aufeinander folgende Überprüfungen der Stabilität und der Drift notwendig sind (siehe Abschnitt 7).

6.2.2 Messungen mit geringer Genauigkeit

Diese Messungen sind vorteilhaft, wenn die typische Unsicherheit $U_\lambda/\lambda = U_\nu/\nu > 10^{-4}$ ist. Diese Aussage trifft für Laser mit großer Bandbreite zu, z. B. Puls laser oder Multimode-Dauerstrich laser, oder für Messungen unter Einsatz eines Gerätes mit geringer Auflösung.

Für diese Messungen brauchen die einzelnen Moden nicht aufgelöst zu werden, und es sollten die gewichtete mittlere Wellenlänge λ_g sowie der quadratische Mittelwert der Strahlungsbandbreite $\Delta\lambda$ bestimmt werden. Die Wellenlängenstabilität sollte als Funktion der Betriebsparameter beurteilt werden, d. h. es sollten $\delta\lambda_T$ und/oder $\delta\lambda_c$ gemessen werden.

Zur Bestimmung der gewichteten mittleren Wellenlänge werden im Allgemeinen die Grenzen für die Integration λ_{min} und λ_{max} so ausgewählt, dass die spektrale Verteilung außerhalb dieses Intervalls weniger als 1 % des maximalen Wertes beträgt. Falls andere Grenzen für die Integration angewendet werden, müssen sie im Prüfbericht angegeben werden.

Es können sich Fälle ergeben, bei denen die spektrale Verteilung über einen sehr großen Wellenlängenbereich Werte annimmt, die nicht viel weniger als 1 % des maximalen Wertes betragen, z. B. bei einer schmalen Spitze auf einem breiten Untergrund. In diesem Fall kann ein beträchtlicher Anteil der Gesamtleistung außerhalb der für die Integration festgelegten Grenzen gefunden werden. Außerdem kann für sehr schmale Verteilungen die Geräteauflösung den bei λ_p gemessenen maximalen Wert für $S(\lambda)$ und damit die Integrationsgrenzen beeinflussen. Es sollte sichergestellt werden, dass der für λ_g errechnete Wert nicht signifikant beeinflusst wird.

6.2.3 Messungen mit mittlerer Genauigkeit

Diese Messungen sind vorteilhaft, wenn die typische Unsicherheit $U_\lambda/\lambda = U_\nu/\nu$ eine Größenordnung von 10^{-4} bis 10^{-5} hat. Diese Aussage trifft für Puls laser mit schmaler Bandbreite oder für Multimode-Dauerstrich laser zu.

Bei diesen Messungen werden die einzelnen Moden im Allgemeinen aufgelöst, und der Modeabstand $F_{\text{Mode-Abst.}}$ (für den Frequenzbereich) oder $S_{\text{Mode-Abst.}}$ (für den Wellenlängenbereich), die Anzahl der longitudinalen Moden innerhalb einer bestimmten Bandbreite N_m und die Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis R_{SMS} können bewertet werden. Die Zentralwellenlänge $\bar{\lambda}$ und der quadratische Mittelwert der spektralen Bandbreite $\Delta\lambda_{\text{rms}}$ sollten bestimmt werden. Die Wellenlängenstabilität sollte als Funktion der Betriebsparameter gemessen werden, d. h. $\delta\lambda_T$ und/oder $\delta\lambda_c$.

6.2.4 Messungen mit hoher Genauigkeit

Diese Messungen sind vorteilhaft, wenn die typische Unsicherheit $U_\lambda/\lambda = U_\nu/\nu < 10^{-5}$ beträgt. Diese Aussage trifft für Einmoden laser oder Puls laser mit schmaler Bandbreite zu.

Bei diesen Messungen müssen mögliche Seitenmoden erkannt werden, und die Seitenmode-Unterdrückungsverhältnis R_{SMS} muss, falls zutreffend, bestimmt werden.