

DIN EN 62522

ICS 33.180.99

Einsprüche bis 2011-11-19

Entwurf**Kalibrierung von abstimmbaren Laserquellen
(IEC 86/407/CD:2011)**

Calibration of tuneable laser sources
(IEC 86/407/CD:2011)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2011-09-12 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 als Datei per E-Mail an dke@din.de 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 online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

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 66 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Vorbereitung der Kalibrierung	7
5 Kalibrierung der Wellenlänge	8
6 Kalibrierung der optischen Leistung	14
7 Dokumentation	20
Anhang A (normativ) Mathematische Grundlagen	21
A.1 Bewertung von Unsicherheit Typ A	21
A.2 Bewertung von Unsicherheit Typ B	21
A.3 Bestimmung der kombinierten Standardunsicherheit	22
A.4 Bericht	23
Anhang B (informativ) Mittlere Wellenlängenabweichung (oder Leistungsabweichung) über einem bestimmten Bereich	24
Anhang C (informativ) Weitere Prüfungen	26
C.1 Auflösung der Wellenlänge	26
C.2 Auflösung der optischen Leistung	27
C.3 Signal-Quelle-Spontanemissionsverhältnis	28
C.4 Seitenmoden-Unterdrückungsverhältnis	29
Literaturhinweise	32
Bilder	
Bild 1 – Messaufbau für die Kalibrierung der Eigenwellenlänge	8
Bild 2 – Messaufbau für die Temperaturabhängigkeit	10
Bild 3 – Messaufbau für die Stabilität der Wellenlänge	11
Bild 4 – Messaufbau für die Abhängigkeit von der optischen Leistung	12
Bild 5 – Messaufbau für die Eigenkalibrierung der optischen Leistung	14
Bild 6 – Messaufbau für die Temperaturabhängigkeit	16
Bild 7 – Messaufbau für die Stabilität der optischen Leistung	17
Bild 8 – Messaufbau für die Wellenlängenabhängigkeit	19
Bild C.1 – Messaufbau für die Prüfung der Auflösung der Wellenlänge	26
Bild C.2 – Messaufbau für die Prüfung der Auflösung der optischen Leistungseinstellung	27
Bild C.3 – Messaufbau für die Prüfung des Signal-Quelle-Spontanemissionsverhältnisses	28
Bild C.4 – Messung des Signal-Quelle-Spontanemissionsverhältnisses	29
Bild C.5 – Messaufbau für die Prüfung des Seitenmoden-Unterdrückungsverhältnisses	29
Bild C.6 – Optisches Spektrum einer abstimmbaren Laserquelle	30
Bild C.7 – Messaufbau für die Prüfung des SMSR	31

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 86/407/CD:2011 „Calibration of tuneable laser sources“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

Das internationale Dokument wurde vom TC 86 „Fibre optics“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 412 „Kommunikationskabel (Kabel, Leitungen, Wellenleiter, Lichtwellenleiter, Komponenten, Zubehör und Anlagentechnik für die Nachrichten- und Informationsübertragung)“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnichtsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Kalibrierung von abstimmbaren Laserquellen

Einleitung

Wellenlängenmultiplex-Übertragungssysteme (wavelength-division multiplexing, WDM) werden bereits in Lichtwellenleiter-Hauptleitungen eingesetzt. Die ITU-T-Empfehlungen der Reihe G.691 beschreiben die Frequenz- und Wellenlängenabstände für WDM-Anwendungen. Der Frequenzabstand nach G.691.1 unterstützt beispielsweise eine Vielzahl von Kanalabständen im Bereich von 12,5 GHz bis 100 GHz und darüber. In den WDM-Übertragungssystemen sind WDM-Einrichtungen mit Wellenleitergitter (en: arrayed waveguide grating, AWG), Dünnschichtfilter oder Multiplexer (MUX) und Demultiplexer (DMUX) auf Gitterbasis mit geringem Kanalabstand enthalten. Die Messung der Kennwerte dieser Einrichtungen erfolgt im Allgemeinen mit in der Wellenlänge abstimmbaren Laserquellen, die ein genau kalibriertes Betriebsverhalten aufweisen müssen; maßgebliche Parameter sind Wellenlängenunsicherheit, Wiederholpräzision der Wellenlängenabstimmung, Wellenlängenstabilität und Stabilität der optischen Ausgangsleistung.

Die abstimmbare Laserquelle (en: tuneable laser source, TLS) besitzt folgende Merkmale:

- a) die Ausgangswellenlänge ist in einem Wellenlängenbereich von 1 260 nm oder höher bis mindestens 1 675 nm abstimmbare (am Ausgang sollte nur der Grundmode LP_{01} des Lichtwellenleiters angeregt werden);
- b) ein Ausgangsanschluss für Lichtwellenleitersteckverbinder.

Die Hüllkurve des Spektrums muss dem Spektrum bei Longitudinal-Einmodenbetrieb mit einer Halbwertsbreite (en: full width half maximum, FWHM) von höchstens 0,1 nm entsprechen. Alle angrenzenden Moden müssen mindestens 20 dB kleiner als der Hauptmode des Spektrums sein (z. B. Laser mit verteilter Rückkopplung (en: distributed feedback diode laser, DFB-Laser), Laser mit externem Resonator (en: external cavity laser) usw.).

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Internationale Norm enthält ein sicheres und reproduzierbares Verfahren für die Kalibrierung der Wellenlänge und Ausgangsleistung eines abstimmbaren Lasers gegenüber Referenzmesseinrichtungen wie Messgeräten für die optische Leistung und die optische Wellenlänge (einschließlich der optischen Frequenz), die vorher rückverfolgbar kalibriert worden 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).

IEC 60050-300, Ed. 1.0, 2001-07, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements – Part 312: General terms relating to electrical measurements – Part 313: Types of electrical measuring instruments – Part 314: Specific terms according to the type of instrument*

IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

ISO/IEC 17025, Ed. 2.0, 2005-05, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO/IEC Guide 98-3, Ed. 1.0, 2008-09, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

akkreditiertes Kalibrierlabor

Kalibrierlabor, das von der entsprechenden nationalen Organisation autorisiert ist, Kalibrierzertifikate auszustellen, welche die Rückführbarkeit auf nationale Normale aufzeigen

3.2

Justierung

Folge von Tätigkeiten, die an einem Messgerät ausgeführt werden, damit seine Anzeigen gegebenen Werten der Messgröße entsprechen [IEC 60050-300:2001 (311-03-16); siehe auch ISO/IEC Guide 99:2007, 3.11, modifiziert]

3.3

Kalibrierung

Folge von Tätigkeiten zur Ermittlung des Zusammenhanges zwischen den ausgegebenen Werten einer Messeinrichtung und den zugehörigen, durch Normale festgelegten Werten einer Messgröße unter vorgegebenen Bedingungen [ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Die Ergebnisse einer Kalibrierung erlauben entweder die Zuordnung der Werte der Messgröße zur Anzeige oder die Ermittlung von Korrekturen für die Anzeige.

ANMERKUNG 2 Durch eine Kalibrierung können auch andere metrologische Merkmale wie die Wirkung von Einflussgrößen ermittelt werden.

ANMERKUNG 3 Das Ergebnis einer Kalibrierung kann in einem Dokument festgehalten werden, das auch Kalibrierzertifikat oder Kalibrierbericht genannt wird.

3.4

Kalibrierbedingungen

Messbedingungen, unter denen die Kalibrierung durchgeführt wird

3.5

Kalibrierung bei Referenzbedingungen

Kalibrierung, die die Bewertung der Unsicherheit bei Referenzbedingungen der zu kalibrierenden Lichtquelle beinhaltet

3.6

Kalibrierung bei Betriebsbedingungen

Kalibrierung, die die Bewertung der Unsicherheit bei Betriebsbedingungen der zu kalibrierenden Lichtquelle beinhaltet

3.7

Vertrauensniveau

geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert eines gemessenen Parameters in dem angegebenen Bereich liegt

3.8

Überdeckungsfaktor

k

wird verwendet, um die erweiterte Unsicherheit U aus der Standardunsicherheit u zu berechnen [ISO/IEC Guide 99:2007, 2.38, modifiziert]

3.9**Dezibel
dB, dBm**

Teil der Einheit Bel, B, mit der optische Leistungspegel auf einer logarithmischen Skala ausgedrückt werden; der Leistungspegel ist immer relativ zu einer Referenzleistung P_0 zu verstehen

$$L_{P/P_0} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Dabei werden P und P_0 in den gleichen linearen Einheiten ausgedrückt.

Das Einheitenzeichen dBm wird zur Angabe von Leistungspegeln bezogen auf 1 mW benutzt:

$$L_{P/1\text{mW}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{1\text{mW}} \right)$$

Das lineare Verhältnis R_{lin} zweier Strahlungsleistungen P_1 und P_2 kann alternativ auch als Leistungsdifferenz in Dezibel (dB) angegeben werden:

$$\Delta L_P = 10 \cdot \log_{10} (R_{\text{lin}}) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \cdot \log_{10} (P_1) - 10 \cdot \log_{10} (P_2)$$

Ähnlich können relative Unsicherheiten U_{lin} oder relative Abweichungen alternativ in Dezibel ausgedrückt werden:

$$U_{\text{dB}} = \left| 10 \cdot \log_{10} \left| (1 - U_{\text{lin}}) \right| \right|$$

ANMERKUNG 1 Für die mathematische Betrachtung sollten alle Messergebnisse in linearen Einheiten (z. B. Watt) und alle Unsicherheiten in linearer Form angegeben werden. Das ist empfehlenswert, weil die Summierung von Unsicherheiten in logarithmischen Einheiten mathematisch schwierig ist. Die endgültige Angabe einer Unsicherheit kann entweder in linearer Form oder in dB erfolgen.

ANMERKUNG 2 Weitere Einzelheiten sollten ISO 80000-3 und IEC 60027-3 entnommen werden. Die Vorschriften von IEC 60027-3 gestatten keine Anhänge an Einheitenzeichen. Das Einheitenzeichen dBm wird jedoch in der vorliegenden Norm akzeptiert, weil die Anwendung weit verbreitet und bei Anwendern von Lichtwellenleitmessgeräten üblich ist.

3.10**Abweichung der optischen Leistung** **D_P**

Differenz zwischen der eingestellten Leistung der zu kalibrierenden Lichtquelle P_{TLS} und der entsprechenden Referenzleistung P_{meas} , die vom Referenzleistungsmessgerät gemessen wird [ISO/IEC Guide 99:2007, 3.11, modifiziert]

$$D_P = \frac{P_{\text{TLS}} - P_{\text{meas}}}{P_{\text{meas}}}$$

3.11**Betriebsbedingungen**

geeigneter Satz von festgelegten Wertebereichen von Einflussgrößen, der üblicherweise umfangreicher ist als die Referenzbedingungen und für den die Unsicherheiten eines Messgerätes festgelegt sind

ANMERKUNG Die Betriebsbedingungen und die Unsicherheit bei Betriebsbedingungen werden üblicherweise vom Hersteller aus Gründen der Verbraucherefreundlichkeit angegeben.

3.12**Referenzbedingungen**

Bedingungen für die Prüfung des Betriebsverhaltens eines Messgerätes oder für den Vergleich von Messergebnissen

ANMERKUNG Referenzbedingungen schließen im Allgemeinen Festlegungen von Referenzwerten und Referenzbereichen für die auf das Messgerät einwirkenden Einflussgrößen ein.

3.13

Seitenmoden-Unterdrückungsverhältnis SMSR (side-mode suppression ratio)

maximales Leistungsverhältnis von Hauptmoden-Spektrum zu größtem Seitenmoden-Spektrum für eine Einmoden-Laserdiode wie z. B. eine DFB-LD

ANMERKUNG Das Seitenmoden-Unterdrückungsverhältnis wird normalerweise in dB angegeben.

3.14

Wellenlänge

Wellenlänge einer Lichtquelle im Vakuum

3.15

Wellenlängenabweichung

D_λ

Differenz zwischen der Zielwellenlänge λ_{TLS} , die an der zu kalibrierenden Lichtquelle eingestellt wird, und der gemessenen Wellenlänge λ_{meas} in nm oder μm :

$$D_\lambda = \lambda_{\text{TLS}} - \lambda_{\text{meas}}$$

4 Vorbereitung der Kalibrierung

4.1 Organisation

Das Kalibrierlabor sollte die Anforderungen von ISO/IEC 17025 erfüllen.

Für jede durchgeführte Art der Kalibrierung muss ein dokumentiertes Messverfahren mit einer schrittweisen Arbeitsanweisung und der zu verwendenden Einrichtung vorliegen.

4.2 Rückverfolgbarkeit

Die Anforderungen von ISO/IEC 17025 sollten erfüllt werden.

Sämtliche beim Kalibrierverfahren verwendeten Normale müssen nach einem dokumentierten Programm, das auf nationale oder akkreditierte Kalibrierlabore rückverfolgbar ist, kalibriert werden.

Es ist empfehlenswert, auf jeder hierarchischen Ebene mehrere Normale zu unterhalten, so dass die Leistungsfähigkeit des Normals durch Vergleich auf derselben Ebene nachgewiesen werden kann. Es ist sicherzustellen, dass alle anderen Kalibriereinrichtungen mit einem maßgeblichen Einfluss auf die Kalibrierergebnisse kalibriert sind.

4.3 Vorbereitung

Die Umgebungsbedingungen müssen mit der Unsicherheit im Einklang stehen, die für die Kalibrierung erforderlich ist:

- Kalibrierungen müssen in einer sauberen Umgebung durchgeführt werden.
- Es ist eine Temperaturüberwachung und -regelung erforderlich.
- Alle Laserquellen müssen sicher betrieben werden (siehe IEC 60825-1).
- Mit einem optischen Spektrumanalysator (en: optical spectrum analyser, OSA) sollte geprüft werden, ob das Spektrum am Ausgang einer abstimmbaren Laserquelle einmodig ist oder nicht.

Wenn es nicht anders angegeben ist, werden sämtliche Kalibrierungen bei einer Raumtemperatur von $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ und, falls festgelegt, bei einer relativen Feuchte von $(50 \pm 20)\%$ durchgeführt. Die Kalibriereinrichtung benötigt vor der Prüfung mindestens 2 Stunden bis zum Erreichen des Gleichgewichtes in ihrer Umgebung. Der abstimmbaren Laserquelle muss eine Aufwärmzeit nach den Anweisungen des Herstellers eingeräumt werden.

4.4 Referenzkalibrierbedingungen

Zu den Referenzkalibrierbedingungen gehören gewöhnlich die folgenden Parameter und gegebenenfalls deren Toleranzbereiche: Datum, Temperatur, relative Feuchte, Luftdruck, angezeigte optische Leistung, angezeigte Wellenlänge, Lichtwellenleiter, Steckverbinder-Adapter-Kombination, eingestellte (spektrale) Bandbreite und Auflösungsbandbreite (spektrale Auflösung). Wenn es nicht anders festgelegt ist, ist eine Einmoden-Lichtwellenleiter-Anschlussfaser der Kategorie B1.1 oder B1.3 nach den Festlegungen in IEC 60793-2-50 mit einer Länge von mindestens 2 m anzuwenden. Vorzugsweise ist die gesamte Kalibrierung in einer Situation durchzuführen, unter der Rückreflexionen vernachlässigbar sind. Folglich sollten immer, wenn es die Situation zulässt, schräg angeschliffene Steckverbinder und Isolatoren benutzt werden.

Die abstimmbare Laserquelle ist nach den Spezifikationen und Betriebsverfahren des Herstellers zu betreiben. Soweit durchführbar ist ein Bereich von Kalibrierbedingungen und -parametern auszuwählen, der die tatsächlichen Feldbetriebsbedingungen der zu kalibrierenden abstimmbaren Laserquelle nachbildet. Diese Parameter sind so zu wählen, dass die Genauigkeit der abstimmbaren Laserquelle, die in den Betriebsverfahren des Herstellers festgelegt ist, optimiert wird.

Die Bedingungen sind nach den Festlegungen im Abschnitt 7 zu dokumentieren.

ANMERKUNG 1 Die Kalibrierergebnisse gelten nur für die Menge der Kalibrierbedingungen, die im Kalibrierverfahren angewendet wurde.

ANMERKUNG 2 Aufgrund einer möglichen gefährlichen Strahlung sollte sichergestellt sein, dass die Bedingungen für die Sicherheit von Lasern eingehalten werden. Siehe IEC 60825-1 und IEC 60825-2.

5 Kalibrierung der Wellenlänge

5.1 Überblick

Die Faktoren, die die Unsicherheit der Wellenlänge der zu kalibrierenden Lichtquelle verursachen, sind:

- die Eigenunsicherheit der zu kalibrierenden Lichtquelle, die bei der Kalibrierung bei Referenzbedingungen ermittelt wird, einschließlich von Temperatur- und Zeitabhängigkeit für diese strengen Bedingungen und
- die Unsicherheiten infolge der Abhängigkeit von der optischen Leistung, der Temperatur und der Zeit, die bei der Kalibrierung bei breiteren Betriebsbedingungen ermittelt werden.

Die Kalibrierung der Wellenlänge bei Referenzbedingungen nach den Festlegungen in 5.2 für einzelne Wellenlängen ist vorgeschrieben. Die Kalibrierung bei den in 5.3 beschriebenen Betriebsbedingungen ist wahlfrei.

5.2 Kalibrierung der Wellenlänge bei Referenzbedingungen

5.2.1 Aufbau

Bild 1 zeigt ein Kalibriersystem für die Kalibrierung der Eigenwellenlänge für die Wellenlängengenauigkeit. Die Kalibrierung wird unter den angegebenen Referenzbedingungen durchgeführt.



Bild 1 – Messaufbau für die Kalibrierung der Eigenwellenlänge

5.2.2 Kalibriereinrichtung

Für die Kalibrierung muss ein Wellenlängenmessgerät angewendet werden. Das Wellenlängenmessgerät sollte nach IEC 62129-2 kalibriert sein.

5.2.3 Kalibrierverfahren für die Kalibrierung der Wellenlänge

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- Unter Bezugnahme auf das in Bild 1 dargestellte Kalibriersystem sind die eingestellte Wellenlänge der Lichtquelle mit λ_{TLS} und die Messwerte mit $\lambda_{\text{meas}_{i,j}}$ angegeben. Die Unsicherheit der Wellenlängenmessung berücksichtigt die Wiederholpräzision der Abstimmung und die Hysterese der abstimmbaren Laserquelle (TLS). Die Hysterese ist definiert als der Fehler, der sich durch die Abstimmung der gewünschten Wellenlänge sowohl von der Seite der kürzeren als auch von der Seite der längeren Wellenlänge aus ergibt.
- Die Wellenlängenmessung $\lambda_{\text{meas}_{i,j}}$ wird mindestens zehnmal wiederholt. Es ist sicherzustellen, dass die TLS vor jeder Messung auf λ_{TLS_j} abgestimmt wird. Die Annäherung an die Zielwellenlänge (j) sollte so erfolgen, dass eine Abstimmung sowohl von der Seite der längeren Wellenlänge als auch von der Seite der kürzeren Wellenlänge aus erfolgt.
- Die mittlere gemessene Wellenlänge $\bar{\lambda}_{\text{meas}_j}$ wird wie folgt berechnet:

$$\bar{\lambda}_{\text{meas}_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{meas}_{i,j}} \quad (1)$$

Dabei ist m die Anzahl der durchgeführten Messungen. Jeder Wert $\lambda_{\text{meas}_{i,j}}$ ist ein angezeigter Mittelwert des Wellenlängenmessgerätes. Es wird die Wellenlängenabweichung D_{λ_j} berechnet:

$$D_{\lambda_j} = \lambda_{\text{TLS}_j} - \bar{\lambda}_{\text{meas}_j} \quad (2)$$

Dabei ist λ_{TLS_j} die Wellenlänge, auf die die TLS abgestimmt wird.

- Es ist die Standardabweichung für λ_j von den (m) Wellenlängenmessergebnissen $\lambda_{\text{meas}_{i,j}}$ zu berechnen:

$$s_{\lambda_j} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left(\lambda_{\text{meas}_{i,j}} - \bar{\lambda}_{\text{meas}_j} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

- Es ist die Wiederholpräzision der Wellenlängenabstimmung S_{rep,λ_j} zu bestimmen:

$$S_{\text{rep},\lambda_j} = 2 \times s_{\lambda_j} \quad (4)$$

Das Kalibrierverfahren muss für jede Kalibrierwellenlänge durchgeführt werden. Es müssen mindestens 10 einzelne Wellenlängen oder die Wellenlänge im Abstand von 10 nm einschließlich der ersten, der mittleren und der letzten Wellenlänge des Bereiches gemessen werden.

5.2.4 Abhängigkeit von den Bedingungen

5.2.4.1 Temperaturabhängigkeit

5.2.4.1.1 Aufbau

Bild 2 zeigt ein Kalibriersystem für die Temperaturabhängigkeit. Diese Kalibrierung wird unter den Referenzbedingungen mit Ausnahme der Temperatur durchgeführt.

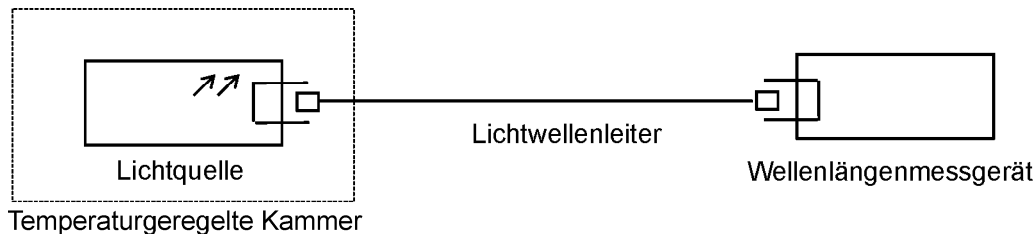


Bild 2 – Messaufbau für die Temperaturabhängigkeit

5.2.4.1.2 Kalibriereinrichtung

Es wird folgende Kalibriereinrichtung verwendet:

- Wellenlängenmessgerät mit der Fähigkeit der Messung von Wellenlängenabweichungen, die mindestens zehnmal kleiner sind als die Wellenlängenstabilität der TLS.
- Temperaturgeregelte Kammer: Es ist sicherzustellen, dass die Messergebnisse nicht von der inneren Temperaturverteilung abhängen.

5.2.4.1.3 Kalibrierverfahren für die Bestimmung der Temperaturabhängigkeit

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- Unter Bezugnahme auf das in Bild q dargestellte Kalibriersystem wird die Nennwellenlänge (j) der TLS $\lambda_{j,\text{ref}}$ bei der optischen Leistung P_{TLS_j} bei Referenzbedingungen gemessen. Die verwendete Wellenlänge sollte die größte Reaktion auf Temperaturänderungen zeigen. Ansonsten ist die Beschreibung mehrerer Ausgangswellenlängen erforderlich.
- Es ist die Wellenlänge der TLS λ_{j,Θ_i} bei der Temperatur (i) zu messen. Zur Bestimmung von λ_{j,Θ_i} sollte der jeder Temperatureinstellung entsprechende Temperaturmesswert gemittelt werden.
- Es wird die relative Wellenlängenabweichung berechnet:

$$D_{\lambda_{j,\Theta_i}} = \lambda_{j,\Theta_i} - \lambda_{j,\text{ref}} \quad (5)$$

- Die Schritte 2 und 3 sind mit (m) verschiedenen Temperatureinstellungen Θ_i zu wiederholen, um sicherzustellen, dass dem Messgerät die notwendige Zeit eingeräumt wurde, um ein Temperaturgefälle zu beseitigen.
- Es ist die höchste $\max\left(D_{\lambda_{j,\Theta_i}}\right)\Big|_{i=1}^{i=m}$ und die niedrigste $\min\left(D_{\lambda_{j,\Theta_i}}\right)\Big|_{i=1}^{i=m}$ Wellenlängenabweichung zu berechnen.
- Die Standunsicherheit für die Temperaturabhängigkeit der Wellenlänge $u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}$ bei der Kalibrierwellenlänge (j) unter Anwendung eines Rechteckverteilungsmodells ist:

$$u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\max\left(D_{\lambda_{j,\Theta_i}}\right)\Big|_{i=1}^{i=m} - \min\left(D_{\lambda_{j,\Theta_i}}\right)\Big|_{i=1}^{i=m} \right] \quad (6)$$

Dabei ist $\Delta\Theta$ die Temperaturänderung.

ANMERKUNG Es ist empfehlenswert, für die Dauer dieser Kalibrierung eine Wellenlängenerfassung mit einem optischen Wellenlängenmessgerät durchzuführen.

5.2.4.2 Stabilität der Wellenlängen

5.2.4.2.1 Aufbau

Bild 3 zeigt ein Kalibriersystem für die Stabilität der Wellenlänge. Diese Kalibrierung wird unter den Referenzbedingungen mit Ausnahme der Zeit durchgeführt.



Bild 3 – Messaufbau für die Stabilität der Wellenlänge

5.2.4.2.2 Kalibriereinrichtung

Es ist empfehlenswert, ein Wellenlängenmessgerät mit der Fähigkeit der Messung von Wellenlängenabweichungen, die mindestens zehnmals kleiner sind als die Wellenlängenstabilität der TLS, zu verwenden.

5.2.4.2.3 Kalibrierverfahren für die Stabilität der Wellenlänge

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- Unter Bezugnahme auf das in Bild 3 dargestellte Kalibriersystem wird die Messung durchgeführt, nachdem die Lichtquelle eingeschaltet worden und einige Zeit warmgelaufen ist.
- Es ist ein bestimmtes Zeitintervall (Δt) auszuwählen, das für die Durchführung von mindestens 10 Wellenlängenmessungen mit einem Referenzwellenlängenmessgerät ausreicht.
- Es muss eine stetige Wellenlängenerfassung mit einem Datums- und Zeitstempel der Wellenlängen erfolgen, die in einem computerlesbaren Format gespeichert wird. Die Parameter der Erfassung sind so auszuwählen, dass während des eingestellten Zeitintervalls mindestens 10 Wellenlängenmessungen λ_{j,t_j} durchgeführt werden. Die Erfassungslänge muss mindestens ein Zeitintervall umfassen.
- Es ist sicherzustellen, dass (m) Messungen je Zeitintervall mit ($m > 10$) aufgenommen werden, das genau dem gewünschten Zeitintervall (Δt) entspricht.
- Es ist die Standardabweichung von (m) Wellenlängenmessungen entsprechend dem gewünschten Zeitintervall (Δt) zu berechnen:

$$u_{\lambda_j, \Delta t} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left(\lambda_{j,t_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{j,t_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

- Zur Bewertung der Wellenlängenstabilität der TLS ist mindestens ein Zeitintervall erforderlich. In diesem Fall gilt für die Unsicherheit der Stabilität der Wellenlänge:

$$S_{\text{stab}, \lambda_j, \Delta t} = 2 \times u_{\lambda_j, \Delta t} \quad (8)$$

Vorzugsweise sollten mehrere Zeitintervalle erfasster Daten unter Anwendung eines gleitenden Fensters berechnet und der Höchstwert aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG Die Wellenlänge der Lichtquelle sollte mehr als zehnmals (n -mal) nacheinander gemessen werden. Das Zeitintervall zwischen den wiederholten Messungen sollte länger sein als die Ansprechzeit der Lichtquelle.

5.2.5 Unsicherheit bei Referenzbedingungen

Die Unsicherheit der Kalibrierwellenlänge (λ_j) bei Referenzbedingungen wird wie folgt angegeben:

$$u_{\lambda_{j,\text{ref}}} = \left(\frac{s_{\lambda_j}^2}{m} + u_{\lambda_j, \Delta\Theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, \text{res}}^2 + u_{\text{WM}_{\lambda_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Dabei werden $u_{\lambda_j, \Delta\Theta}$ und $u_{\lambda_j, \Delta t}$ für die in 5.2.4 festgelegten Referenzbedingungen bewertet, $u_{\lambda_j, \text{res}}$ ist die Unsicherheit der Wellenlängenauflösung, die mit $u_{\lambda_j, \text{res}} = d\lambda_j / 2\sqrt{3}$ definiert ist ($d\lambda_j$ ist die Wellenlängenauflösung der TLS, die auch durch Messung bestimmt werden kann; siehe C.1) und $u_{\text{WM}_{\lambda_j}}$ ist die Unsicherheit des Wellenlängenmessgerätes bei der Wellenlänge (λ_j) nach der Beschreibung in seinem Zertifikat.

Die erweiterte Unsicherheit für die Kalibrierwellenlänge (λ_j) bei Referenzbedingungen $U_{\lambda_{j,\text{ref}}}$ mit einem Überdeckungsfaktor k wird wie folgt angegeben:

$$U_{\lambda_{j,\text{ref}}} = \pm k u_{\lambda_{j,\text{ref}}} \quad (10)$$

Dabei entspricht k einem geeigneten Vertrauensniveau nach den Angaben in A.4.

ANMERKUNG Falls die Wellenlänge auf der Basis der Kalibrierergebnisse korrigiert werden muss, werden diese Korrekturen in der Regel durch Softwarekorrekturen im Messgerät, mathematische Korrekturen der Ergebnisse oder Hardwarejustierungen am Messgerät durchgeführt. Nach der Durchführung der Justierungen ist die Wiederholung der Kalibrierungen empfehlenswert, um nachzuweisen, dass die Korrekturen richtig sind.

5.3 Kalibrierung der Wellenlänge bei Betriebsbedingungen

5.3.1 Allgemeines

Das Kalibrierverfahren wird durchgeführt, wenn die Lichtquelle außerhalb der Referenzbedingungen eingesetzt wird.

Die einzelnen Faktoren der Wellenlängenunsicherheit bei Betriebsbedingungen sind folgende:

- a) Abhängigkeit von der optischen Leistung;
- b) Temperaturabhängigkeit;
- c) Wellenlängenstabilität.

5.3.2 Abhängigkeit von der optischen Leistung

Bild 4 zeigt ein Kalibriersystem für die Abhängigkeit von der optischen Leistung. Diese Kalibrierung sollte unter den Referenzkalibrierbedingungen mit Ausnahme der optischen Leistung durchgeführt werden.

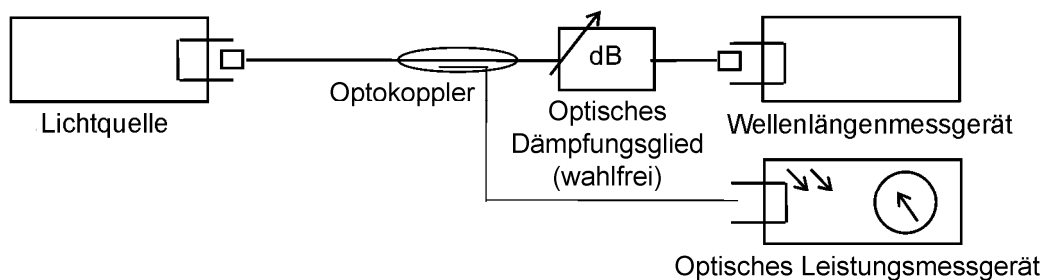


Bild 4 – Messaufbau für die Abhängigkeit von der optischen Leistung

5.3.2.1 Kalibriereinrichtung

Es wird folgende Kalibriereinrichtung verwendet:

- Wellenlängenmessgerät mit der Fähigkeit der Messung von Wellenlängenabweichungen, die mindestens zehnmal kleiner sind als die Wellenlängenstabilität der TLS.
- Optokoppler: Dabei handelt es sich um ein optisches Verzweigungsmodul, welches das Ausgangslicht aus der Lichtquelle mit dem Ziel stabiler Bedingungen auskoppelt.
- Optisches Leistungsmessgerät: Dabei handelt es sich um ein optisches Leistungsmessgerät, welches zum Nachweis dafür benutzt wird, dass die Regelung der Ausgangsleistung in der TLS richtig arbeitet. Für dieses Leistungsmessgerät muss keine Absolutkalibrierung der Leistung vorliegen. Es ist entscheidend, dass das Leistungsmessgerät linear proportional auf die einfallende Leistung reagiert. Die Antwort des Leistungsmessgerätes muss ausreichend linear sein, um Änderungen der Eingangsleistung festzustellen, die sich durch Modifikationen der TLS-Ausgangsleistung ergeben. Die Unsicherheit des Referenzleistungsmessgerätes u_{PM} ist bekannt und in seinem Zertifikat angegeben.

5.3.2.2 Kalibrierverfahren für die Bestimmung der Leistungsabhängigkeit

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- Die Wellenlänge (j) wird bei m optischen Leistungen (mehr als 5) der Lichtquelle P_{TLS_j} einschließlich der oberen und der unteren Grenze des festgelegten Leistungsbereiches gemessen. Der Abstand zwischen diesen benachbarten Pegeln sollte kleiner als 10 dB sein. Es ist sicherzustellen, dass sich die am Leistungsmessgerät beobachtete optische Leistung proportional zu der sich verändernden optischen Leistung der TLS ändert.
- Unter Bezugnahme auf das in Bild 2 dargestellte Kalibriersystem werden die eingestellte Wellenlänge der Lichtquelle mit $\lambda_{TLS_{i,j}}$ und der Messwert des Wellenlängenmessgerätes mit $\lambda_{P_{i,j}}$ angegeben.
- Die gemessene Wellenlänge $\lambda_{P_{i,j}}$ wird für alle (m) verwendeten Einstellungen der Ausgangsleistung $P_{TLS_{i,j}}$ aufgezeichnet.
- Es ist die Standardunsicherheit der Wellenlänge (j) infolge der optischen Ausgangsleistung der TLS wie folgt zu berechnen:

$$u_{\lambda_{j,P}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left(\lambda_{P_{i,j}} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{P_{i,j}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

5.3.3 Unsicherheit bei Betriebsbedingungen

Die Unsicherheit der Kalibrierwellenlänge (j) bei beliebigen Betriebsbedingungen wird wie folgt angegeben:

$$u_{\lambda_{j,op}} = \left(s_{\lambda_j}^2 + u_{\lambda_j,P}^2 + u_{\lambda_j,\Delta\Theta}^2 + u_{\lambda_j,\Delta t}^2 + u_{\lambda_j,res}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Dabei werden $u_{\lambda_j,P}$, $u_{\lambda_j,\Delta\Theta}$ und $u_{\lambda_j,\Delta t}$ für die Betriebsbedingungen bewertet, $u_{\lambda_j,res}$ ist die Unsicherheit der Wellenlängenauflösung, die mit $u_{\lambda_j,res} = d\lambda_j / 2\sqrt{3}$ definiert ist ($d\lambda_j$ ist die Wellenlängenauflösung der TLS, die auch durch Messung bestimmt werden kann; siehe C.1) und $u_{WM_{\lambda_j}}$ ist die Unsicherheit des Wellenlängenmessgerätes bei der Wellenlänge (j) nach der Beschreibung in seinem Zertifikat.

Die erweiterte Unsicherheit für die Kalibrierwellenlänge (j) bei allen Betriebsbedingungen $U_{\lambda_{j,op}}$ mit einem Überdeckungsfaktor k wird wie folgt angegeben:

$$U_{\lambda_{j,op}} = \pm k u_{\lambda_{j,op}} \quad (13)$$

Dabei entspricht k einem geeigneten Vertrauensniveau nach der Beschreibung in A.4.

6 Kalibrierung der optischen Leistung

6.1 Überblick

Die Faktoren, die die Unsicherheit der eingestellten optischen Leistung der zu kalibrierenden Lichtquelle verursachen, sind:

- die Eigenunsicherheit der zu kalibrierenden Lichtquelle, die bei der Kalibrierung bei Referenzbedingungen ermittelt wird, einschließlich von Temperatur- und Zeitabhängigkeit für diese strengen Bedingungen und
- die Teilunsicherheiten infolge der Abhängigkeit von der Wellenlänge, der Temperatur und der Zeit, die bei der Kalibrierung bei breiteren Betriebsbedingungen ermittelt werden.

Die Kalibrierung der optischen Leistung bei Referenzbedingungen nach den Festlegungen in 6.2 ist vorgeschrieben. Die Kalibrierung bei den in 6.3 beschriebenen Betriebsbedingungen ist wahlfrei.

6.2 Kalibrierung der optischen Leistung bei Referenzbedingungen

6.2.1 Aufbau

Bild 5 zeigt ein Kalibriersystem für die Eigenkalibrierung der optischen Leistung im Hinblick auf die Genauigkeit der optischen Leistung. Die Kalibrierung wird unter den angegebenen Referenzbedingungen durchgeführt.

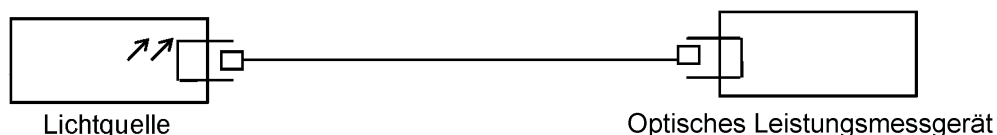


Bild 5 – Messaufbau für die Eigenkalibrierung der optischen Leistung

ANMERKUNG Bei stark kohärenten Lichtquellen wie abstimmbaren Laserquellen können infolge der Beeinflussung zwischen Steckverbindern, Steckverbinderende und Oberfläche des Kopfstückes des optischen Leistungsmessgerätes usw. möglicherweise Probleme bei der Messung ihrer optischen Leistung auftreten. Diese Störbeeinflussungen können durch die Anwendung der Kohärenzsteuerfunktion der zu kalibrierenden Lichtquelle, falls vorhanden, durch Steckverbinder mit angeschrägtem physikalischem Kontakt (en: angled physical contact, APC), durch in Reihe geschaltete optische Isolatoren und optische Leistungsmessgeräte mit geneigter Empfängerfläche verringert werden.

6.2.2 Kalibriereinrichtung

Es wird folgende Kalibriereinrichtung verwendet:

- Optisches Leistungsmessgerät: Dabei handelt es sich um ein optisches Leistungsmessgerät, das nach den folgenden Standardkalibrierbedingungen kalibriert ist:
 - ein optisches Leistungsmessgerät, welches von einer offiziellen Institution kalibriert wurde, die Kalibrierdienste mit einer angegebenen Unsicherheit durchführt; oder
 - ein optisches Leistungsmessgerät, das auf eine solche offizielle Institution mit einer angegebenen Unsicherheit rückführbar ist.

Die Unsicherheit des Referenzleistungsmessgerätes ist bereits bekannt und in seinem Zertifikat angegeben.

6.2.3 Kalibrierverfahren für die Kalibrierung der Leistung bei Referenzbedingungen

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- Lichtquelle und Leistungsmessgerät werden mit dem zu messenden Lichtwellenleiter verbunden.
- Die Wellenlänge der Lichtquelle wird auf die geforderte Kalibrierwellenlänge eingestellt.
- Die Ausgangsleistung der Lichtquelle wird auf P_{TLS_j} eingestellt. Die Unsicherheit der Leistungsmessung berücksichtigt die Wiederholpräzision der Einstellung und die Hysterese der TLS. Die Hysterese ist definiert als der Fehler, der sich durch die Einstellung der gewünschten Leistung sowohl von der Seite der unteren als auch von der Seite der oberen Leistung aus ergibt.
- Der Messwert wird vom optischen Leistungsmessgerät abgelesen.
- Diese Messung wird mindestens zehnmal wiederholt. Es ist sicherzustellen, dass die TLS vor jeder Messung auf P_{TLS_j} eingestellt wird. Die Annäherung an die Zielleistung sollte so erfolgen, dass die Einstellung sowohl von der Seite der unteren als auch von der Seite der oberen Leistung aus erfolgt.

$$D_{P_{i,j}} = \frac{P_{\text{TLS}_j} - P_{\text{meas}_{i,j}}}{P_{\text{meas}_{i,j}}} \quad (14)$$

Dabei ist m die Anzahl der durchgeführten Messungen. Jeder Wert $P_{\text{meas}_{i,j}}$ ist ein angezeigter Mittelwert des Leistungsmessgerätes. Es wird die Leistungsabweichung D_{P_j} berechnet.

$$D_{P_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{P_{i,j}} \quad (15)$$

Dabei ist P_{TLS_j} die eingestellte optische Leistung der TLS.

- Es ist die Standardabweichung für D_{P_j} für die (m) Leistungsmessergebnisse $P_{\text{meas}_{i,j}}$ zu berechnen:

$$s_{D_{P_j}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left(D_{P_{i,j}} - D_{P_j} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

- Es ist die Wiederholpräzision der Einstellung der optischen Leistung $s_{\text{rep},D_{P_j}}$ zu bestimmen:

$$s_{\text{rep},D_{P_j}} = 2 \times s_{D_{P_j}} \quad (17)$$

Die Unsicherheitsberechnungen (6.2.3 a) bis g)) sollten für jede Kalibrierleistung durchgeführt werden. Es sollten mindestens drei einzelne Leistungen gemessen werden.

6.2.4 Abhängigkeit von den Bedingungen

6.2.4.1 Temperaturabhängigkeit

6.2.4.1.1 Aufbau

Bild 6 zeigt ein Kalibriersystem für die Temperaturabhängigkeit. Diese Kalibrierung wird unter den Referenzbedingungen mit Ausnahme der Temperatur durchgeführt.

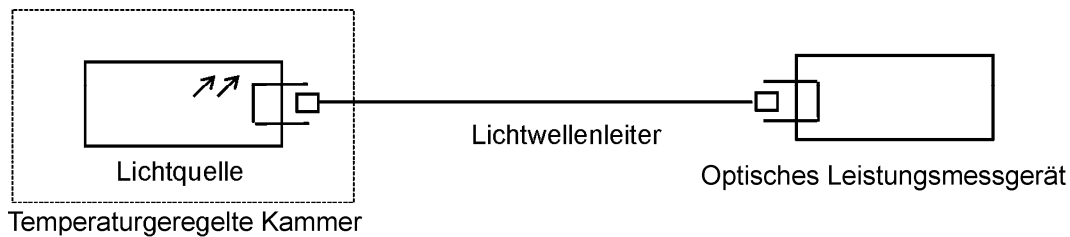


Bild 6 – Messaufbau für die Temperaturabhängigkeit

6.2.4.1.2 Kalibriereinrichtung

Es wird folgende Kalibriereinrichtung verwendet:

- a) Optisches Leistungsmessgerät: Dabei handelt es sich um ein optisches Leistungsmessgerät, das nach den folgenden Standardkalibrierbedingungen kalibriert ist:
 - i) ein optisches Leistungsmessgerät, welches von einer offiziellen Institution kalibriert wurde, die Kalibrierdienste mit einer angegebenen Unsicherheit durchführt; oder
 - ii) ein optisches Leistungsmessgerät, das auf eine solche offizielle Institution mit einer angegebenen Unsicherheit rückführbar ist.
- b) Temperaturgeregelte Kammer: Es ist sicherzustellen, dass die Messergebnisse nicht von der inneren Temperaturverteilung abhängen.

6.2.4.1.3 Kalibrierverfahren für die Bestimmung der Temperaturabhängigkeit

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- a) Unter Bezugnahme auf das in Bild 6 dargestellte Kalibriersystem wird die optische Nennleistung der TLS $P_{j,\text{ref}}$ bei der Wellenlänge λ_{TLS_j} bei Referenzbedingungen gemessen. Die verwendete optische Leistung sollte die größte Reaktion auf Temperaturänderungen zeigen. Ansonsten ist die Beschreibung mehrerer optischer Ausgangsleistungen erforderlich.
- b) Es ist die optische Leistung der TLS P_{j,Θ_i} bei der Temperatur (i) zu messen. Zur Bestimmung von P_{j,Θ_i} sollte der jeder Temperatureinstellung entsprechende optische Leistungswert gemittelt werden.
- c) Es wird die relative Abweichung der optischen Leistung berechnet:

$$D_{P_{j,\Theta_i}} = \frac{P_{j,\Theta_i} - P_{j,\text{ref}}}{P_{j,\text{ref}}} \quad (18)$$

- d) Die Schritte b) und c) sind mit (m) verschiedenen Temperatureinstellungen Θ_i zu wiederholen, um sicherzustellen, dass dem Messgeräte die notwendige Zeit eingeräumt wurde, um ein Temperaturgefälle zu beseitigen.
- e) Es ist die höchste $\max\left(D_{P_{j,\Theta_i}}\right) \Big|_{i=1}^{i=m}$ und die niedrigste $\min\left(D_{P_{j,\Theta_i}}\right) \Big|_{i=1}^{i=m}$ Abweichung der optischen Leistung zu berechnen.
- f) Die Standardunsicherheit für die Temperaturabhängigkeit der optischen Leistung $u_{P_{j,\Delta\Theta}}$ bei der optischen Kalibrierleistung unter Anwendung eines Rechteckverteilungsmodells ist:

$$u_{D_{P_{j,\Delta\Theta}}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\max\left(D_{P_{j,\Theta_i}}\right) \Big|_{i=1}^{i=m} - \min\left(D_{P_{j,\Theta_i}}\right) \Big|_{i=1}^{i=m} \right] \quad (19)$$

Dabei ist $\Delta\Theta$ die Temperaturänderung.

ANMERKUNG Es ist empfehlenswert, für die Dauer dieser Kalibrierung eine Erfassung der optischen Leistung mit einem optischen Leistungsmessgerät durchzuführen.

6.2.4.2 Stabilität der optischen Leistung

6.2.4.2.1 Aufbau

Bild 7 zeigt ein Kalibriersystem für die Stabilität der optischen Leistung. Diese Kalibrierung wird unter den Referenzbedingungen mit Ausnahme der Zeit durchgeführt.



Bild 7 – Messaufbau für die Stabilität der optischen Leistung

6.2.4.2.2 Kalibriereinrichtung

- a) Optisches Leistungsmessgerät: Dabei handelt es sich um ein optisches Leistungsmessgerät, das nach den folgenden Standardkalibrierbedingungen kalibriert ist:
 - i) ein optisches Leistungsmessgerät, welches von einer offiziellen Institution kalibriert wurde, die Kalibrierdienste mit einer angegebenen Unsicherheit durchführt; oder
 - ii) ein optisches Leistungsmessgerät, das auf eine solche offizielle Institution mit einer angegebenen Unsicherheit rückführbar ist.

6.2.4.2.3 Kalibrierverfahren für die Stabilität der optischen Leistung

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- a) Unter Bezugnahme auf das in Bild 7 dargestellte Kalibriersystem wird die Messung durchgeführt, nachdem die Lichtquelle eingeschaltet worden und einige Zeit warmgelaufen ist.
- b) Es ist ein bestimmtes Zeitintervall (Δt) auszuwählen, das für die Durchführung von mindestens 10 Messungen der optischen Leistung mit einem Referenzleistungsmessgerät ausreicht.
- c) Es muss eine stetige Erfassung der optischen Leistung mit einem Datums- und Zeitstempel erfolgen, die in einem computerlesbaren Format gespeichert wird. Die Parameter der Erfassung sind so auszuwählen, dass während des eingestellten Zeitintervalls mindestens drei Messungen der optischen Leistung P_{j,t_j} durchgeführt werden. Die Erfassungslänge muss mindestens ein Zeitintervall umfassen.
- d) Es ist sicherzustellen, dass (m) Messungen je Zeitintervall mit ($m > 3$) aufgenommen werden, die genau dem gewünschten Zeitintervall (Δt) entsprechen.
- e) Es ist die Standardabweichung von (m) Messungen entsprechend dem Zeitintervall (Δt) zu berechnen:

$$u_{D_{P_j}, \Delta t} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left(P_{j,t_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j,t_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \bigg/ \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j,t_i} \right) \quad (20)$$

- f) Zur Bewertung der Stabilität der optischen Leistung der TLS ist mindestens ein Zeitintervall erforderlich. In diesem Fall gilt für die Unsicherheit der Stabilität der optischen Leistung:

$$S_{\text{stab}, D_{P_j}, \Delta t} = 2 \times u_{D_{P_j}, \Delta t} \quad (21)$$

Vorzugsweise sollten mehrere Zeitintervalle erfasster Daten unter Anwendung eines gleitenden Fensters berechnet und der Höchstwert aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG Die optische Leistung der Lichtquelle sollte mehr als zehnmal (n -mal) nacheinander gemessen werden. Das Zeitintervall zwischen den wiederholten Messungen sollte länger sein als die Ansprechzeit der Lichtquelle.

6.2.5 Unsicherheit bei Referenzbedingungen

Die Unsicherheit für die optische Kalibrierleistung bei Referenzbedingungen wird wie folgt angegeben:

$$u_{D_{P_j, \text{ref}}} = \left(\frac{s_{D_{P_j}}^2}{m} + u_{D_{P_j, \Delta\Theta}}^2 + u_{D_{P_j, \Delta t}}^2 + u_{D_{P_j, \text{res}}}^2 + u_{PM_{P_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

Dabei werden $u_{D_{P_j, \Delta\Theta}}$ und $D_{P_j, \Delta t}$ für die in 6.2.4 festgelegten Referenzbedingungen bewertet, $u_{D_{P_j, \text{res}}}$ ist die relative Unsicherheit der Auflösung der optischen Leistung, die mit $u_{D_{P_j, \text{res}}} = (dP_{\text{TLS},j} / P_{\text{TLS},j}) / 2\sqrt{3}$ definiert ist ($dP_{\text{TLS},j} / P_{\text{TLS},j}$ ist die Auflösung der optischen Leistung der TLS, die auch durch Messung bestimmt werden kann; siehe C.2) und $u_{PM_{P_j}}$ ist die relative Unsicherheit des Leistungsmessgerätes nach der Beschreibung in seinem Zertifikat.

Die erweiterte Unsicherheit für das Kalibrier-Leistungsmessgerät bei Referenzbedingungen $U_{D_{P_j, \text{ref}}}$ mit einem Überdeckungsfaktor k wird wie folgt angegeben:

$$U_{D_{P_j, \text{ref}}} = \pm k u_{D_{P_j, \text{ref}}} \quad (23)$$

Dabei entspricht k einem geeigneten Vertrauensniveau nach der Beschreibung in A.4.

ANMERKUNG Falls die optische Leistung auf der Basis der Kalibrierergebnisse korrigiert werden muss, werden diese Korrekturen in der Regel durch Softwarekorrekturen im Messgerät, mathematische Korrekturen der Ergebnisse oder Hardwarejustierungen am Messgerät durchgeführt. Nach der Durchführung der Justierungen ist die Wiederholung der Kalibrierungen empfehlenswert, um nachzuweisen, dass die Korrekturen richtig sind.

6.3 Kalibrierung der optischen Leistung bei Betriebsbedingungen

6.3.1 Allgemeines

Das Kalibrierverfahren wird durchgeführt, wenn die Lichtquelle außerhalb der Referenzbedingungen eingesetzt wird.

Die einzelnen Faktoren der Unsicherheit der optischen Leistung bei Betriebsbedingungen sind folgende:

- a) Wellenlängenabhängigkeit;
- b) Temperaturabhängigkeit;
- c) Stabilität der optischen Leistung.

6.3.2 Wellenlängenabhängigkeit

6.3.2.1 Aufbau

Bild 8 zeigt ein Kalibriersystem für die Wellenlängenabhängigkeit. Diese Kalibrierung sollte unter den Referenzkalibrierbedingungen mit Ausnahme der Wellenlänge durchgeführt werden.

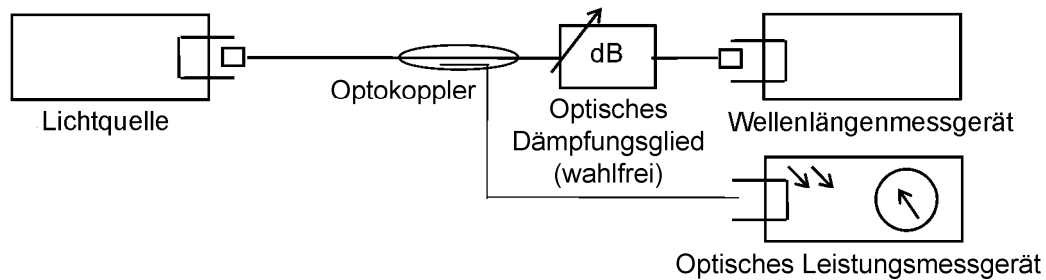


Bild 8 – Messaufbau für die Wellenlängenabhängigkeit

6.3.2.2 Kalibriereinrichtung

Es wird folgende Kalibriereinrichtung verwendet:

- Optisches Leistungsmessgerät: Dabei handelt es sich um ein optisches Leistungsmessgerät, das nach den folgenden Standardkalibrierbedingungen kalibriert ist:
 - ein optisches Leistungsmessgerät, welches von einer offiziellen Institution kalibriert wurde, die Kalibrierdienste mit einer angegebenen Unsicherheit durchführt; oder
 - ein optisches Leistungsmessgerät, das auf eine solche offizielle Institution mit einer angegebenen Unsicherheit rückführbar ist.

6.3.2.3 Kalibrierverfahren für die Bestimmung der Wellenlängenabhängigkeit

Es wird das folgende Kalibrierverfahren durchgeführt:

- Die optische Leistung $\lambda_{\text{TLS},i,j}$ wird bei m Wellenlängen (mehr als 5) der Lichtquelle einschließlich der oberen und der unteren Grenze des festgelegten Wellenlängenbereiches gemessen.
- Unter Bezugnahme auf das in Bild 8 dargestellte Kalibriersystem werden die eingestellte optische Leistung der Lichtquelle mit $P_{\text{TLS},i,j}$ und der Messwert des Leistungsmessgerätes mit $P_{\lambda_{i,j}}$ angegeben.
- Die gemessene optische Leistung $P_{\lambda_{i,j}}$ wird für alle (m) verwendeten Einstellungen der Wellenlänge $\lambda_{\text{TLS},i,j}$ aufgezeichnet.
- Es ist die Standardunsicherheit der optischen Leistung (j) infolge der Ausgangswellenlänge der TLS wie folgt zu berechnen:

$$u_{D_{P_{j,\lambda}}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left(P_{\lambda_{i,j}} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\lambda_{i,j}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \bigg/ \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\lambda_{i,j}} \right) \quad (24)$$

6.3.3 Unsicherheit bei Betriebsbedingungen

Die Unsicherheit für die optische Kalibrierleistung bei beliebigen Betriebsbedingungen wird wie folgt angegeben:

$$u_{D_{P_{j,\text{op}}}} = \left(s_{D_{P_j}}^2 + u_{D_{P_j,\lambda}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta\theta}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta r}}^2 + u_{D_{P_j,\text{res}}}^2 + u_{\text{PM}_{P_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Dabei werden $u_{D_{P_j,\lambda}}$, $u_{D_{P_j,\Delta\theta}}$ und $u_{D_{P_j,\Delta r}}$ für die Betriebsbedingungen bewertet, $u_{D_{P_j,\text{res}}}$ ist die relative Unsicherheit der Auflösung der optischen Leistung, die mit $u_{D_{P_j,\text{res}}} = (dP_{\text{TLS},j} / P_{\text{TLS},j}) / 2\sqrt{3}$ definiert ist ($dP_{\text{TLS},j} / P_{\text{TLS},j}$ ist die Auflösung der optischen Leistung der TLS, die auch durch Messung bestimmt werden

kann; siehe C.2) und $u_{PM_{P_j}}$ ist die relative Unsicherheit des Leistungsmessgerätes bei der optischen Leistung nach der Beschreibung in seinem Zertifikat.

Die erweiterte Unsicherheit für die optische Kalibrierleistung bei allen Betriebsbedingungen $U_{D_{P_{j,op}}}$ mit einem Überdeckungsfaktor k wird wie folgt angegeben:

$$U_{D_{P_{j,op}}} = \pm k u_{D_{P_{j,op}}} \quad (26)$$

Dabei entspricht k einem geeigneten Vertrauensniveau nach der Beschreibung in A.4.

7 Dokumentation

7.1 Messdaten und Unsicherheit

Kalibrierzertifikate, die in Übereinstimmung mit dem vorliegenden Dokument erstellt werden, müssen die folgenden Daten und deren Unsicherheiten enthalten und die Unsicherheiten müssen in Form von geschätzten Vertrauensintervallen angegeben werden, indem die entsprechende Standardunsicherheit mit $\pm k$ multipliziert wird.

- Die Wellenlängenabweichung D_{λ_j} und deren Unsicherheit $\pm k u_{\lambda_{j,ref}}$ im Vakuum wird beispielsweise in nm angegeben. Genaue Anforderungen können Abschnitt 5 entnommen werden.
- Die Abweichung der optischen Leistung D_{P_j} und deren Unsicherheit $\pm k u_{D_{P_{j,ref}}}$ wird beispielsweise in % oder dB angegeben. Genaue Anforderungen können Abschnitt 6 entnommen werden.

7.2 Messbedingungen

Das (die) Kalibrierverfahren und das (die) Verfahren zur Erfassung der Messergebnisse müssen angegeben werden.

Jeder Spezifikation sollte außerdem ein Dokument über den Messgerätstatus und die Messbedingungen, für die er gilt, beigelegt werden. Die wichtigsten Parameter sind: das Kalibrierdatum, die angezeigte optische Leistung, Temperatur, Feuchte und Luftdruck.

ANMERKUNG Die Kalibrierergebnisse gelten nur für die Menge der Kalibrierbedingungen, die im Kalibrierverfahren angewendet wurde.