

**DIN EN 61315**

ICS 33.180.99

Einsprüche bis 2017-02-16  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN 61315:2006-09**Entwurf****Kalibrierung von Lichtwellenleiter-Leistungsmessgeräten  
(IEC 86/492/CD:2016)**Calibration of fibre-optic power meters  
(IEC 86/492/CD:2016)Etalonnage de wattmètres pour dispositifs à fibres optiques  
(IEC 86/492/CD:2016)**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-12-16 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm 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](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [dke@vde.com](mailto:dke@vde.com) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, 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 81 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

## Inhalt

|                                                                                         | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Nationales Vorwort.....                                                                 | 4     |
| Einleitung .....                                                                        | 5     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                               | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                          | 6     |
| 3 Begriffe .....                                                                        | 6     |
| 4 Vorbereitung der Kalibrierung .....                                                   | 13    |
| 4.1 Organisation .....                                                                  | 13    |
| 4.2 Rückführbarkeit .....                                                               | 13    |
| 4.3 Hinweise für Messungen und Kalibrierungen.....                                      | 14    |
| 4.4 Empfehlungen für Kunden.....                                                        | 14    |
| 5 Absolutleistungskalibrierung.....                                                     | 15    |
| 5.1 Kalibrierverfahren .....                                                            | 15    |
| 5.2 Herstellung der Kalibrierbedingungen .....                                          | 16    |
| 5.3 Kalibrierung .....                                                                  | 17    |
| 5.4 Kalibrierunsicherheit .....                                                         | 17    |
| 5.4.1 Unsicherheit durch den Messaufbau.....                                            | 18    |
| 5.4.2 Unsicherheit des Bezugsmessgeräts .....                                           | 19    |
| 5.4.3 Korrekturfaktoren und Unsicherheiten aufgrund von Änderungen der Bedingungen..... | 20    |
| 5.4.4 Unsicherheiten durch den Prüfling .....                                           | 23    |
| 5.5 Angabe der Ergebnisse .....                                                         | 24    |
| 6 Messunsicherheit eines kalibrierten Leistungsmessgeräts .....                         | 24    |
| 6.1 Allgemeines .....                                                                   | 24    |
| 6.2 Unsicherheit bei Bezugsbedingungen.....                                             | 24    |
| 6.3 Unsicherheit bei Betriebsbedingungen.....                                           | 25    |
| 6.3.1 Bestimmung der Abhängigkeiten von Bedingungen .....                               | 25    |
| 6.3.2 Alterung .....                                                                    | 26    |
| 6.3.3 Temperaturabhängigkeit .....                                                      | 26    |
| 6.3.4 Abhängigkeit vom Leistungspegel (Nichtlinearität) .....                           | 27    |
| 6.3.5 Abhängigkeit vom Lichtwellenleitertyp oder von der Strahlgeometrie .....          | 27    |
| 6.3.6 Abhängigkeit von der Steckverbinder-Adapter Kombination .....                     | 29    |
| 6.3.7 Wellenlängenabhängigkeit .....                                                    | 29    |
| 6.3.8 Abhängigkeit von der spektralen Bandbreite .....                                  | 30    |
| 6.3.9 Polarisationsabhängigkeit .....                                                   | 30    |
| 6.2.10 Andere Abhängigkeiten .....                                                      | 31    |
| 7 Kalibrierung der Nichtlinearität .....                                                | 31    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                   | 31    |
| 7.2 Auf Superposition basierende Kalibrierung der Nichtlinearität.....                  | 32    |

|                                                                                                                                   | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 7.2.1 Durchführung .....                                                                                                          | 32    |
| 7.2.2 Unsicherheiten .....                                                                                                        | 33    |
| 7.3 Nichtlinearitätskalibrierung durch Vergleich mit einem kalibrierten Leistungsmessgerät .....                                  | 34    |
| 7.3.1 Durchführung .....                                                                                                          | 34    |
| 7.3.2 Unsicherheiten .....                                                                                                        | 35    |
| 7.4 Nichtlinearitätskalibrierung durch Vergleich mit einem Dämpfungsglied .....                                                   | 35    |
| 7.5 Kalibrierung von Leistungsmessgeräten für die Messung hoher Leistung .....                                                    | 35    |
| Anhang A (normativ) Mathematische Grundlagen .....                                                                                | 36    |
| A.1 Unsicherheitsbestimmung Typ A .....                                                                                           | 36    |
| A.2 Unsicherheitsbestimmung Typ B .....                                                                                           | 36    |
| A.3 Bestimmung der kombinierten Standardunsicherheit .....                                                                        | 37    |
| A.4 Berichte .....                                                                                                                | 38    |
| Anhang B (informativ) Umrechnung der Unsicherheiten linear in die dB-Skalierung .....                                             | 39    |
| B.1 Definition von Dezibel .....                                                                                                  | 39    |
| B.2 Umrechnung von relativen Unsicherheiten .....                                                                                 | 39    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                           | 40    |
| <b>Bilder</b>                                                                                                                     |       |
| Bild 1 – Typische spektrale Empfindlichkeit von photoelektrischen Empfängern .....                                                | 11    |
| Bild 2 – Beispiel einer Rückführbarkeitskette .....                                                                               | 13    |
| Bild 3 – Messaufbau für sequentielle lichtwellenleitergestützte Kalibrierung .....                                                | 16    |
| Bild 4 – Änderung der Bedingungen und Unsicherheit .....                                                                          | 20    |
| Bild 5 – Bestimmung und Aufzeichnung einer Ausweitungsunsicherheit .....                                                          | 26    |
| Bild 6 – Mögliche Einteilung der optischen Bezugsebene in (10 × 10)-Quadrate zur Messung des räumlichen Übertragungsfaktors ..... | 27    |
| Bild 7 – Wellenlängenabhängigkeit des Übertragungsfaktors, verursacht durch Fabry-Perot-Interferenz .....                         | 30    |
| Bild 8 – Messaufbau für den polarisationsabhängigen Übertragungsfaktor .....                                                      | 31    |
| Bild 9 – Auf Superposition basierende Kalibrierung der Nichtlinearität .....                                                      | 32    |
| Bild 10 – Messaufbau für die Nichtlinearitätskalibrierung durch Vergleich .....                                                   | 34    |
| <b>Tabellen</b>                                                                                                                   |       |
| Tabelle 1 – Typische Kalibrierverfahren und entsprechende Leistungen .....                                                        | 15    |
| Tabelle 2 – Nichtlinearität .....                                                                                                 | 33    |

## Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 86/492/CD:2016 „Calibration of fibre-optic power meters“ (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 beigefügt. 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 dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.2 „Komponenten für Kommunikationskabelanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE ([www.dke.de](http://www.dke.de)) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten 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.

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

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 61315:2006-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Begriffe wurden aktualisiert;
- b) Abschnitt 5.1 einschließlich Tabelle 1 wurde aktualisiert (neue Arten von Quellen);
- c) Anhang A wurde aktualisiert;
- d) Anhang B Umrechnung der Unsicherheiten linear in die dB-Skalierung wurde ergänzt;
- e) die deutsche Fassung wurde im Abschnitt 3 an die aktuellen Standardsätze angepasst.

## Kalibrierung von Lichtwellenleiter-Leistungsmessgeräten

### Einleitung

Leistungsmessgeräte der Lichtwellenleitertechnik werden mit dem Ziel entwickelt, optische Leistung von Lichtwellenleiter-Quellen möglichst genau zu messen. Diese Fähigkeit hängt stark von der Qualität des Kalibrierprozesses ab. Im Gegensatz zu anderen Arten von Messgeräten hängen die Ergebnisse von Messgeräten der Lichtwellenleitertechnik üblicherweise von vielen Messbedingungen ab. Die Messbedingungen während des Kalibrierprozesses werden *Kalibrierbedingungen* genannt. Deshalb muss ihre genaue Beschreibung integraler Bestandteil der Kalibrierung sein.

Diese Internationale Norm beschreibt alle am Kalibrierprozess beteiligten Schritte: Herstellung der *Kalibrierbedingungen*, Durchführung der Kalibrierung, Berechnung der Messunsicherheit sowie die Angabe von Messunsicherheiten, *Kalibrierbedingungen* und *Rückführbarkeit*.

Bei der Absolutleistungskalibrierung wird beschrieben, wie das Verhältnis zwischen Eingangsleistung und dem Ergebnis des Leistungsmessgeräts bestimmt wird. Dieses Verhältnis wird *Korrekturfaktor* genannt. Entsprechend Anhang A wird die Messunsicherheit des Korrekturfaktors durch Verknüpfung der Unsicherheitsbeiträge des Bezugsmessgeräts, des Prüflings, des Messaufbaus und des Verfahrens berechnet.

Die Berechnungen umfassen detaillierte Charakterisierungen der einzelnen Unsicherheiten. Es ist wichtig zu wissen, dass:

- a) Schätzungen der einzelnen Unsicherheiten zulässig sind;
- b) eine detaillierte Unsicherheitsanalyse für jeden Typ von Prüfling nur einmal notwendig ist und sich alle folgenden Kalibrierungen auf diese einmalige Analyse stützen können, wobei die entsprechenden Beiträge der Typ-A-Unsicherheit während der Kalibrierung bestimmt werden;
- c) manche Einzelunsicherheiten einfach als Teil einer Prüfliste betrachtet werden können, wobei deren tatsächlicher Wert vernachlässigbar ist.

Eine Kalibrierung entsprechend Abschnitt 5 ist für Berichte, die sich auf diese Norm beziehen, obligatorisch.

In Abschnitt 6 wird die Bestimmung der Messunsicherheit eines kalibrierten Leistungsmessgeräts beschrieben, das bei *Bezugsbedingungen* oder *Betriebsbedingungen* betrieben wird. Sie hängt ab von der nach 5.4 bestimmten Kalibrierunsicherheit des Leistungsmessgeräts, den Bedingungen und den Abhängigkeiten von diesen Bedingungen. Normalerweise wird die Messunsicherheit von Herstellern berechnet, um Spezifikationen zu erstellen, und ist für Berichte entsprechend dieser Norm nicht zwingend erforderlich. Eine dieser Abhängigkeiten, die Nichtlinearität, wird mittels einer getrennten Kalibrierung bestimmt (Abschnitt 7).

**ANMERKUNG** Faseroptische Leistungsmessgeräte messen und zeigen die optische Leistung am Ende eines Lichtwellenleiters in Luft an. Aufgrund der Fresnel-Reflexion am Glas-Luft-Übergang (mit  $N = 1,47$ ) ist sie ungefähr 3,6 % niedriger als die Leistung in der Faser. Das sollte berücksichtigt werden, wenn die Leistung in der Faser gefragt ist.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm ist auf Geräte anwendbar, die Strahlungsleistung messen, die von Quellen emittiert wird, wie sie für die Lichtwellenleiter-Kommunikationsindustrie typisch sind. Diese Quellen umfassen Laserdioden, lichtemittierende Dioden (LED) und Lichtwellenleiter-Quellen. Die Strahlung kann divergent oder kollimiert sein. Die Norm beschreibt die Kalibrierung von Leistungsmessgeräten, wie sie von Kalibrierlabors oder von Herstellern von Leistungsmessgeräten durchgeführt werden.

## 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).

IEC 60050, *International Electrotechnical Vocabulary*

IEC 60359:2001, *Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance*

IEC 60793-2, *Optical fibres – Part 2: Product specifications – General*

IEC TR 61931, *Fibre optic – Terminology*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML: 1993, *International vocabulary of basic terms in metrology (VIM)*

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML: 1995, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC TR 61931 und die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### **akkreditiertes Kalibrierlabor**

Kalibrierlabor, das von der entsprechenden nationalen Organisation autorisiert ist, Kalibrierzertifikate mit einer minimalen spezifizierten Unsicherheit auszustellen und welche die Rückführbarkeit auf nationale Normale (3.14) aufzeigen

### 3.2

#### **Justierung**

Tätigkeiten an einem Messgerät mit dem Ziel, Anzeigen zu erzielen, die mit gegebenen Werten einer Messgröße in Beziehung stehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn ein Messgerät entsprechend einem Nullwert der Messgröße auf den Messwert Null eingestellt wird, wird dieser Arbeitsablauf Nulleinstellung genannt.

[QUELLE: IEV 311-03-,16; siehe auch VIM, 4.30]

### 3.3

#### **Kalibrierung**

Tätigkeiten zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den ausgegebenen Werten eines Messgeräts und den zugehörigen, durch Normale festgelegten Werten einer Messgröße unter vorgegebenen Bedingungen

[VIM, 6.11, modifiziert]

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ergebnis einer Kalibrierung erlaubt entweder die Zuordnung der Werte der Messgröße zur Anzeige oder die Ermittlung von Korrekturen für die Anzeige.

Anmerkung 2 zum Begriff: Durch eine Kalibrierung können auch andere metrologische Merkmale wie die Wirkung von Einflussgrößen ermittelt werden.

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

[QUELLE: VIM, 6.11, vereinfacht (System und Maßverkörperung entfernt)]

### 3.4

#### Kalibrierbedingungen

Messbedingungen, unter denen die Kalibrierung durchgeführt wird

### 3.5

#### Zentralwellenlänge

$\lambda_c$

leistungsgewichtete mittlere Wellenlänge einer Lichtquelle in Vakuum

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Falle eines kontinuierlichen Spektrums ist die Zentralwellenlänge definiert als:

$$\lambda_c = \frac{\int p(\lambda) \lambda d\lambda}{P_{\text{total}}} \quad (1)$$

Bei einem Spektrum aus diskreten Linien ist die Zentralwellenlänge definiert als:

$$\lambda_c = \frac{\sum P_i \lambda_i}{\sum P_i} \quad (2)$$

Dabei ist

$p(\lambda)$  die spektrale Leistungsdichte der Quelle, zum Beispiel in W/nm;

$\lambda_i$  die Vakuumwellenlänge der  $i$ -ten diskreten Linie;

$P_i$  die Leistung der  $i$ -ten diskreten Linie, z. B. in W;

$P_{\text{total}}$  die Gesamtleistung, z. B. in W.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die genannten Integrale und Summierungen erstrecken sich theoretisch über das gesamte Spektrum der Lichtquelle. Allerdings ist es normalerweise ausreichend, das Integral oder die Summierung über das Spektrum auszuführen, in welchem die spektrale Dichte  $p(\lambda)$  oder Leistung  $P_i$  größer als 0,1 % der maximalen spektralen Dichte  $p(\lambda)$  oder Leistung  $P_i$  ist.

### 3.6

#### Korrekturfaktor

$CF$

Zahlenfaktor, mit dem das unberichtigte Messergebnis zum Ausgleich hinsichtlich der systematischen Messabweichung multipliziert wird

[QUELLE: VIM, 3.16]

### 3.7

#### Empfänger

Bauteil des Leistungsmessgeräts, das die eingestrahlte optische Leistung in eine messbare, üblicherweise elektrische Größe umsetzt. In dieser Norm wird angenommen, dass der Empfänger mit dem optischen Eingangstor durch einen optischen Pfad verbunden ist

[QUELLE: IEC 61931 und VIM, 4.15]

**3.8****Abweichung** **$D$** 

für die Anwendung dieser Norm der relative Unterschied zwischen der mit dem Prüfgerät (3.32) gemessenen Leistung  $P_{\text{DUT}}$  und der Bezugsleistung  $P_{\text{ref}}$

$$D = \frac{P_{\text{DUT}} - P_{\text{ref}}}{P_{\text{ref}}} \quad (3)$$

**3.9****Anregung (Lichtwellenleiter-)**

Beschreibung der Verteilung der optischen Leistung zwischen den Moden im Lichtwellenleiter. Im Zusammenhang mit Mehrmodenfasern wird die Anregung beschrieben durch:

- a) den Fleckdurchmesser (3.31) auf der Endfläche des Lichtwellenleiters und
- b) die numerische Apertur (3.17) der vom Lichtwellenleiter emittierten Strahlung.

Bei Einmodenfasern wird üblicherweise angenommen, dass nur ein Mode angeregt ist (der Grundmode).

**3.10****Geräteeinstellung**

wählbarer Satz von Parametern an einem Messgerät

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Parameter der Geräteeinstellung sind: Messbereich der optischen Leistung, Wellenlängeneinstellung, Anzeigeeinheit und der Ausgang, dem das Messergebnis entnommen wird (zum Beispiel Anzeige, Schnittstelle, Analogausgang).

**3.11****Bestrahlungsstärke**

Quotient aus der inkrementellen Strahlungsleistung  $\partial P$ , die auf ein Element der optischen Bezugsebene trifft, und der inkrementellen Fläche  $\partial A$  dieses Elements:

$$E = \frac{\partial P}{\partial A} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (4)$$

[QUELLE: IEC TR 61931, 2.1.15, hauptsächlich modifiziert durch Hinzufügen der Gleichung]

**3.12****Messergebnis** **$y$** 

(angezeigter oder elektrischer) Ausgang eines Leistungsmessgeräts (oder Normals), nachdem alle in der Bedienungsanleitung empfohlenen Arbeiten abgeschlossen sind, zum Beispiel Aufwärmung, Nullstellung und Wellenlängenkorrektur

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Messergebnis wird in Watt (W) angegeben. Für Zwecke der Unsicherheitsanalyse sollten Messergebnisse in anderen Einheiten, zum Beispiel Volt, in Watt umgerechnet werden. Messergebnisse in Dezibel (dB) sollten ebenfalls in Watt umgerechnet werden, da die gesamte Unsicherheitsanalyse auf Messergebnissen in Watt beruht.

**3.13****Messbereich**

Wertebereich einer Messgröße, bei dem Messabweichungen eines Messgeräts innerhalb festgelegter Grenzen liegen sollen

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm ist der Messbereich der Bereich der Strahlungsleistung (Teilmenge des *Betriebsbereiches*), für den die Betriebsunsicherheit festgelegt ist. Der Begriff „dynamischer Bereich“ sollte in diesem Zusammenhang vermieden werden.

[QUELLE: VIM 5.4]

**3.14****nationales (Mess-)Normal**

Normal, das in einem Land durch nationalen Beschluss als Basis für die Zuweisung der Werte aller anderen Normale der betreffenden Größe anerkannt ist

[QUELLE: VIM 6.3]

**3.15****nationales Normalienlabor**

Labor, welches das nationale Normal (3.14) bewahrt

**3.16****Nichtlinearität**

*NL*

relativer Unterschied zwischen dem Übertragungsfaktor (3.28) bei einer bestimmten Leistung  $P$  und dem Übertragungsfaktor bei einer Bezugsleistung  $P_0$ :

$$nl_{P/P_0} = \frac{r(P)}{r(P_0)} - 1 \quad (5)$$

In Dezibel ausgedrückt ist die Nichtlinearität:

$$NL_{P/P_0} = 10 \times \log_{10} \frac{r(P)}{r(P_0)} \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Bezugsleistung ist die Nichtlinearität Null.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „lokale Nichtlinearität“ wird für den relativen Unterschied zwischen den Übertragungsfaktoren bei zwei unterschiedlichen Leistungspegeln (mit einem Unterschied von 3,01 dB) verwendet, die bei der Kalibrierung der Nichtlinearität erhalten wurden. Der Begriff „globale Nichtlinearität“ wird für das Ergebnis des Aufsummierens der lokalen Nichtlinearitäten verwendet; er ist mit der hier definierten Nichtlinearität identisch.

**3.17****numerische Apertur**

Beschreibung der Strahldivergenz einer optischen Quelle. In dieser Norm entspricht die numerische Apertur der Sinus des (linearen) Halbwinkels, bei dem die Bestrahlungsstärke 5 % der maximalen Bestrahlungsstärke beträgt

[QUELLE: IEC 60793-1-43, modifiziert, an die Definition der numerischen Apertur von Gradientenindex-mehrmodenfasern in IEC 60793-1-43 angelehnt; in dieser Norm wird diese Definition für die Beschreibung der Divergenz aller divergenten Strahlen verwendet]

**3.18****Betriebsbedingungen**

geeigneter Satz von festgelegten Wertebereichen von Einflussgrößen, üblicherweise umfangreicher als die Bezugsbedingungen, für den die Unsicherheiten eines Messgeräts festgelegt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Betriebsbedingungen und die Unsicherheit bei Betriebsbedingungen werden üblicherweise vom Hersteller aus Gründen der Verbraucherfreundlichkeit angegeben.

[QUELLE: VIM, 5.5]

**3.19****Betriebsbereich**

festgelegter Wertebereich für eine Reihe von Betriebsbedingungen (3.18)

**3.20****optisches Eingangstor**

physikalischer Eingang des Leistungsmessgeräts (oder Normals), an den die Strahlungsleistung angelegt oder mit dem das Ende eines Lichtwellenleiters zu verbinden ist. Es wird angenommen, dass das optische

Eingangstor durch einen optischen Pfad (Strahlpfad mit oder ohne optische Elemente wie Linsen, Blenden, Lichtführungen usw.) mit dem Empfänger des Leistungsmessgeräts verbunden ist

### 3.21

#### **optische Bezugsebene**

Ebene auf oder in der Nähe des optischen Eingangstors (3.20), die verwendet wird, um den Fleckdurchmesser des Strahls (3.31) zu definieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die optische Bezugsebene wird üblicherweise senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung angenommen und sollte durch geeignete mechanische Abmessungen relativ zum optischen Eingangstor des Leistungsmessgeräts angegeben werden.

### 3.22

#### **polarisationsabhängiger Übertragungsfaktor**

##### **PDR**

Änderung des Übertragungsfaktors eines Leistungsmessgeräts hinsichtlich aller möglichen Polarisationszustände des Eingangslichts

$$PDR = 10 \times \log_{10} \left( \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \right) \text{ (dB)} \quad (7)$$

Dabei sind  $r_{\max}$  und  $r_{\min}$  der maximale und der minimale Übertragungsfaktor (3.28) über alle Polarisationszustände.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der polarisationsabhängige Übertragungsfaktor wird in Dezibel angegeben.

### 3.23

#### **Leistungsmessgerät (faseroptisches)**

Gerät, das in der Lage ist, Strahlungsleistung zu messen, wie sie von typischen Quellen für die optische Kommunikationsindustrie emittiert wird. Diese Quellen umfassen Laserdioden, LEDs und Lichtwellenleiter. Die Strahlung kann divergent oder kollimiert sein. Es wird angenommen, dass die Strahlung unter den festgelegten Bedingungen auf die optische Bezugsebene fällt. Ein Leistungsmessgerät kann entweder aus einem einzelnen Gerät oder aber aus einem Hauptgerät und einem separaten Messkopf bestehen. Im Falle des separaten Messkopfes kann der Messkopf ohne das Hauptgerät kalibriert werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Messergebnis kann besonders dann vom Hauptgerät beeinflusst sein, wenn im Hauptgerät Analogelektronik eingesetzt wird. In derartigen Fällen muss der Messkopf zusammen mit dem Hauptgerät kalibriert werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Üblicherweise ist ein faseroptisches Leistungsmessgerät in der Lage, das zeitliche Mittel modulierter optischer Leistung zu messen. Unter Umständen ist je nach Tastverhältnis und dem Spitzenwert der modulierten optischen Leistung eine erhöhte Unsicherheit zu beobachten.

Anmerkung 3 zum Begriff: Alle Normale in dieser Norm sind Leistungsmessgeräte.

### 3.24

#### **Strahlungsleistung**

##### **P**

Leistung, die in Form von optischer Strahlung emittiert, übertragen oder empfangen wird [1]<sup>1)</sup>

Anmerkung zum Begriff: Die Strahlungsleistung wird in Watt angegeben.

### 3.25

#### **Bezugsbedingungen**

vorgeschriebene Betriebsbedingungen für die Prüfung eines Messgeräts oder für den Vergleich von Messergebnissen

---

<sup>1)</sup> Zahlenwerte in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezugsbedingungen umfassen üblicherweise Bezugswerte oder Bezugsbereiche für die auf das Messgerät einwirkende Einflussgrößen.

[QUELLE: VIM, 5.7]

### 3.26

#### Bezugsmessgerät

Normal, das als Bezug für die Kalibrierung (3.3) eines Prüflings (3.32) benutzt wird

### 3.27

#### Bezugsnormal

Normal, im Allgemeinen mit der höchsten verfügbaren metrologischen Genauigkeit an einem betrachteten Ort oder bei einer Organisation, von dem dort Messungen abgeleitet werden

[QUELLE: VIM, 6.6]

### 3.28

#### Übertragungsfaktor

$r$

Messergebnis eines Leistungsmessgeräts,  $y$ , dividiert durch die Strahlungsleistung auf der optischen Bezugsebene des Leistungsmessgeräts,  $P$ , bei einer gegebenen Messbedingung:

$$r = \frac{y}{P} \quad (\text{W/W, dimensionslos}) \quad (8)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein ideales Leistungsmessgerät hat bei allen Betriebsbedingungen einen Übertragungsfaktor von 1.

### 3.29

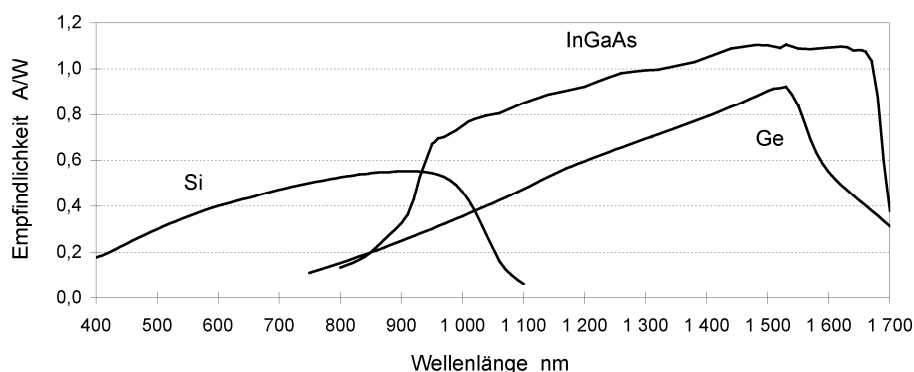
#### (spektrale) Empfindlichkeit

$R$

Quotient aus Empfänger-Ausgangsstrom  $I$  und einfallender monochromatischer optischen Leistung  $P$ :

$$R = \frac{I}{P} \quad (\text{A/W}) \quad (9)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Empfindlichkeit hängt von den Bedingungen ab (Wellenlänge, Temperatur usw.).



#### Legende

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| Si     | Silizium              |
| Ge     | Germanium             |
| InGaAs | Indium-Galliumarsenid |

**Bild 1 – Typische spektrale Empfindlichkeit von photoelektrischen Empfängern**

**3.30****spektrale Bandbreite** **$B$** 

Halbwertsbreite (FWHM) des Spektrums der Strahlungsquelle

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Quelle eine Laserdiode mit einem Spektrum mehrerer longitudinaler Moden ist, dann entspricht die spektrale Bandbreite (FWHM)  $B$  dem Effektivwert (rms) der spektralen Bandbreite multipliziert mit 2,35 (dabei wird angenommen, dass die Quelle eine Gauß'sche Einhüllende hat).

$$B = 2,35 \sqrt{\frac{1}{P_{\text{total}}} \sum_i P_i \lambda_i^2 - \lambda_c^2} \quad (10)$$

$$P_{\text{total}} = \sum_i P_i \quad (11)$$

Dabei ist

 $\lambda_c$  die Zentralwellenlänge (3.5) der Laserdiode, in nm; $P_{\text{total}}$  die Gesamtleistung, in W; $P_i$  die Leistung des  $i$ -ten longitudinalen Mode, in W; $\lambda_i$  die Wellenlänge des  $i$ -ten longitudinalen Mode, in nm.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn die Quelle nur bei einer Wellenlänge emittiert (einliniges Spektrum), kann die Angabe einer oberen Grenze ausreichend sein, zum Beispiel: spektrale Bandbreite < 1 nm.

Anmerkung 3 zum Begriff: Normalerweise ist es ausreichend, das Integral oder die Aufsummierung über den Teil des Spektrums auszuführen, bei dem die Leistung höher als 0,1 % der Maximalleistung ist.

**3.31****Fleckdurchmesser**

in dieser Norm Durchmesser der bestrahlten Fläche auf der optischen Bezugsebene, definiert durch einen Kreis (beste Annäherung), auf dem die Bestrahlungsstärke (3.11) auf 5 % des Spitzenwerts der Bestrahlungsstärke abgefallen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Quotient von 5 % wurde aus Gründen der Vereinbarkeit mit der Definition der numerischen Apertur übernommen. Oft werden andere Quotienten benutzt, um Laserstrahlen zu beschreiben, zum Beispiel  $1/e^2$  oder  $1/e$ . In diesem Fall muss der Quotient zusammen mit dem Fleckdurchmesser angegeben werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die Messung der gesamten optischen Leistung muss der Durchmesser der optischen Bezugsebene größer als der Fleckdurchmesser sein.

**3.32****Prüfling**

durch Vergleich mit dem Bezugsmessgerät (3.26) zu kalibrierendes Leistungsmessgerät (3.23) (oder Normal)

**3.33****Rückführbarkeit**

Eigenschaft des Ergebnisses einer Messung oder der Wertes eines Normals, durch eine ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen mit angegebenen Messunsicherheiten auf geeignete Normale, im Allgemeinen internationale oder nationale Normale, bezogen zu sein

[QUELLE: VIM, 6.10]

### 3.34

#### Rückführbarkeitskette

ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen

[QUELLE: VIM 6.10]

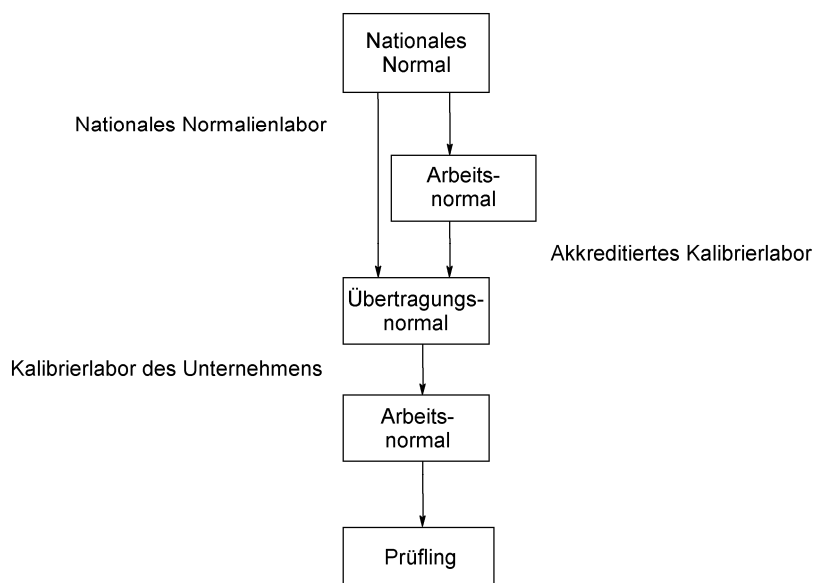


**Bild 2 – Beispiel einer Rückführbarkeitskette**

### 3.35

#### Arbeitsnormal

Normal, das routinemäßig benutzt wird, um Messgeräte zu kalibrieren oder zu prüfen

[QUELLE: VIM, 6.7]

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Arbeitsnormal ist üblicherweise gegen ein Bezugsnormal (3.27) kalibriert.

### 3.36

#### Nullpunktfehler

Messergebnis eines Leistungsmessgeräts ohne Bestrahlung des optischen Eingangstors

[QUELLE: VIM, 5.23]

## 4 Vorbereitung der Kalibrierung

### 4.1 Organisation

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

Für alle Arten von durchgeführten Kalibrierungen sollte ein dokumentiertes Messverfahren vorhanden sein mit Schritt-für-Schritt-Bedienungsanleitungen und den zu benutzenden Einrichtungen.

### 4.2 Rückführbarkeit

Die in ISO/IEC 17025 beschriebenen Anforderungen sollten erfüllt werden.

Alle Normale, die im Kalibrierprozess benutzt werden, sind entsprechend einem dokumentierten Plan mit *Rückführbarkeit* auf *nationale Normalienlabore* oder *akkreditierte Kalibrierlabore* zu kalibrieren. Es ist ratsam, mehr als ein Normal auf jeder Hierarchieebene vorzuhalten, so dass die Leistungsfähigkeit des Normals durch Vergleiche auf derselben Ebene nachgeprüft werden kann. Es ist sicherzustellen, dass weitere Messeinrichtungen, die einen erheblichen Einfluss auf das Kalibrierergebnis haben, kalibriert sind. Diese Prüf-

einrichtungen und deren *Rückführbarkeitskette(n)* sind auf Nachfrage anzugeben. Die Kalibrierzyklen müssen definiert und dokumentiert sein.

### 4.3 Hinweise für Messungen und Kalibrierungen

In diesem Abschnitt werden allgemeingültige Hinweise für alle Messungen und Kalibrierungen von optischen und faseroptischen Leistungsmessgeräten gegeben.

Falls Empfänger ohne Temperaturregelung verwendet werden, sollte die Kalibrierung in einem temperaturgeregelten Raum durchgeführt werden. Die empfohlene Temperatur beträgt 23 °C. Feuchtigkeitsregelung kann notwendig sein, falls feuchteempfindliche optische Sensoren verwendet werden oder wenn Kondensatbildung auf den Komponenten möglich ist. Eine Änderung der Feuchtigkeit im Labor kann die Absorption der Luft und damit auch den Leistungspegel ändern. Dieser Effekt ist bei Wellenlängen zwischen 1 360 nm und 1 410 nm relativ stark, insbesondere bei Anwendung der sequentiellen Offenstrahl-Kalibrierung und bei Feuchteänderungen zwischen den Schritten. Bei parallelen Kalibrierungen mit Offenstrahl-Wegen und annähernd den gleichen Weglängen ändern sich die Messergebnisse von Bezugsmessgerät und Prüfling ungefähr zur gleichen Zeit und haben eine vernachlässigbare Auswirkung auf das Kalibrierergebnis.

Das Labor sollte sauber gehalten werden. Steckverbinder und optische Eingangstore sollten vor jeder Messung gereinigt werden. Die Qualität und Sauberkeit des Steckers vor dem Empfänger sollte überprüft werden. Während der Messung sollten alle Lichtwellenleiter möglichst wenig bewegt werden; falls nötig, können sie auf der Arbeitsplatte fixiert werden. Sensoren sollten eher zum Lichtwellenleiter bewegt werden als der Lichtwellenleiter zum Sensor.

Die optische Quelle, die zur Bestrahlung des Leistungsmessgeräts benutzt wird, sollte bezüglich der Zentralwellenlänge und der spektralen Bandbreite charakterisiert werden. Die spektrale Bandbreite sollte schmal genug sein, um Mittelwertbildung über einen großen Wellenlängenbereich zu vermeiden. Mittel zur Absicherung der Stabilität der Quelle können ratsam sein, zum Beispiel mit Hilfe unabhängiger Leistungsüberwachung.

Laserdioden reagieren empfindlich auf Rückreflexionen. Um die Stabilität zu verbessern, ist es ratsam, ein optisches Dämpfungsglied oder einen optischen Isolator zwischen der Laserdiode und dem Prüfling zu verwenden. Wegen ihrer schmalen spektralen Bandbreite kann die Kombination von Laserdiode und Mehrmodenfaser auf der optischen Bezugsebene Fleckenmuster erzeugen, was zu einer erhöhten Messunsicherheit führt.

LWL-Steckverbinder und Steckeradapter können aufgrund von Mehrfachreflexionen zwischen dem *optischem Eingangstor* (oder Empfänger) und der Stecker-Adapter-Kombination (als Teil der Quelle) zu fehlerhaften Messergebnissen führen [2]. Für die Kalibrierung werden deshalb Steckverbinder und Adapter mit niedrigerem Reflexionsgrad empfohlen. Andernfalls müssen möglicherweise ein Korrekturfaktor und eine erhöhte Unsicherheit berücksichtigt werden.

Es ist ratsam, Bezugsmessgeräte mit einem Empfängerdurchmesser von  $\geq 3$  mm zu verwenden, weil diese leicht mit einem offenen Strahl bestrahlt werden können und weniger empfindlich gegenüber Verunreinigung (Schmutz und Staub) sind. Die Oberflächenreflexionen des Bezugsmessgeräts sollten möglichst gering sein. Falls die Quelle einen divergenten Strahl emittiert, kann ein Bezugsmessgerät mit integrierter Ulbrichtkugel ratsam sein. Es ist auch zulässig, Messgeräte mit „flachem“ Empfänger und mathematischer Korrektur zu verwenden, basierend auf der Multiplikation der emittierten Fernfeld-Verteilung mit der gemessenen Winkelabhängigkeit des Empfängers des Bezugsmessgeräts sowie Integration über den gesamten Bereich von Fernfeldwinkeln.

Für hochgenaue Kalibrierungen sollte eine Temperaturregelung der Empfänger in Betracht gezogen werden, weil Empfänger in manchen Wellenlängenbereichen eine starke Temperaturabhängigkeit aufweisen.

### 4.4 Empfehlungen für Kunden

Es wird empfohlen, dass der Kunde (Benutzer des Leistungsmessgeräts) mindestens ein Bezugsleistungsmessgerät unterhält, das ihm erlaubt, seine Messgeräte zur Vertrauensbildung zu vergleichen. Besonders wichtig sind diese Vergleiche vor und nach dem Versand des Messgeräts zur Rekalibrierung; dies erlaubt

dem Benutzer nach der Rückkehr des Messgeräts zu entscheiden, ob sich die Skala verändert hat oder nicht, zum Beispiel durch den Transport. Skalenänderungen durch *Justierung* (3.2) (siehe IEC 311-03-16 und VIM 4.30) werden im Kalibrierzertifikat angegeben.

Ein regelmäßiger Vergleich der Korrekturfaktoren (3.6) oder der Abweichungen (3.8) erlaubt es dem Benutzer, übermäßiges Altern auszusondern und möglicherweise die Kalibrierintervalle anzupassen.

## 5 Absolutleistungskalibrierung

### 5.1 Kalibrierverfahren

Ein Leistungsmessgerät wird üblicherweise kalibriert, indem sowohl der Prüfling als auch ein kalibriertes Leistungsmessgerät mit bekannter Unsicherheit (Bezugsmessgerät) optischer Strahlung ausgesetzt werden und das Messergebnis des Bezugsmessgeräts (3.26) auf den Prüfling (3.32) übertragen wird.

Die zulässige spektrale Bandbreite (3.30) hängt von der spektralen Empfindlichkeit (3.29) des Prüflings ab; je größer die Wellenlängenabhängigkeit, umso schmaler ist die spektrale Bandbreite. Übliche Bandbreiten betragen  $\leq 10$  nm, dies schließt die Möglichkeit der Kalibrierung mit LEDs größerer Bandbreite aus. Deshalb werden bei der Kalibrierung optischer Leistungsmessgeräte typischerweise entweder Kombinationen von „Weißlichtquellen“ und schmalbandigen Filtern (zum Beispiel Monochromatoren), Laserdioden oder Kombinationen von Superkontinuum-Lasern mit abstimmbaren Bandpassfiltern verwendet.

Abhängig von der Art der Quelle und der anregenden Strahlgeometrie können sechs meist verwendete Kalibrierverfahren unterschieden werden:

**Tabelle 1 – Typische Kalibrierverfahren und entsprechende Leistungen**

| Strahlungsquelle                                        | Offenstrahl-Kalibrierung                 | Lichtwellenleiter-Kalibrierung                                                        |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| „Weißlicht“ mit Filter                                  | $P \approx 10 \mu\text{W}$               | $P \approx 10 \text{ nW}$ bis $0,3 \mu\text{W}$ (MM)<br>$P \approx 2 \text{ nW}$ (SM) |
| Laserdiode                                              | $P \approx 10 \mu\text{W}$ bis einige mW | $P \approx 10 \mu\text{W}$ bis einige mW (SM und MM)                                  |
| Superkontinuumlaser mit Filter                          | $P \approx 1 \mu\text{W}$ bis einige mW  | $P \approx 1 \mu\text{W}$ bis $700 \mu\text{W}$ (SM und MM)                           |
| MM: Mehrmodenfaser (üblicherweise Gradientenindexfaser) |                                          |                                                                                       |
| SM: Einmodenfaser                                       |                                          |                                                                                       |

Für faseroptische Leistungsmessgeräte wird Faserstrahlkalibrierung empfohlen. Bei Offenstrahl-Kalibrierung sollte eine Korrektur der Kalibrierergebnisse mit einer Reihe von LWL-Kalibrierungen bei mehreren Wellenlängen durchgeführt werden.

Es kann zwischen dem sequentiellen und dem parallelen Messverfahren unterschieden werden. Wenn das Bezugsmessgerät und der Prüfling der Quelle nacheinander ausgesetzt werden, dann sollte die Strahlungsleistung möglichst stabil gehalten werden, zum Beispiel durch geeignete Stabilisierung. Für die Parallelkalibrierungen wird ein Strahlteiler oder Verzweiger zur Erzeugung von zwei Strahlen verwendet, die das Bezugsmessgerät und den Prüfling gleichzeitig bestrahlen. In diesem Fall sollte das Teilverhältnis des Strahlteilers oder Verzweigers möglichst genau bestimmt werden, und dessen Stabilität sollte untersucht werden.

Als Beispiel ist in Bild 3 ein Messaufbau für eine sequentielle, LWL-gestützte Kalibrierung dargestellt. In diesen Aufbau ist eine Einkopplungsvorrichtung zur Beseitigung von Mantelmoden und Erzeugung einer angemessenen Modenanregung in den Aufbau integriert.

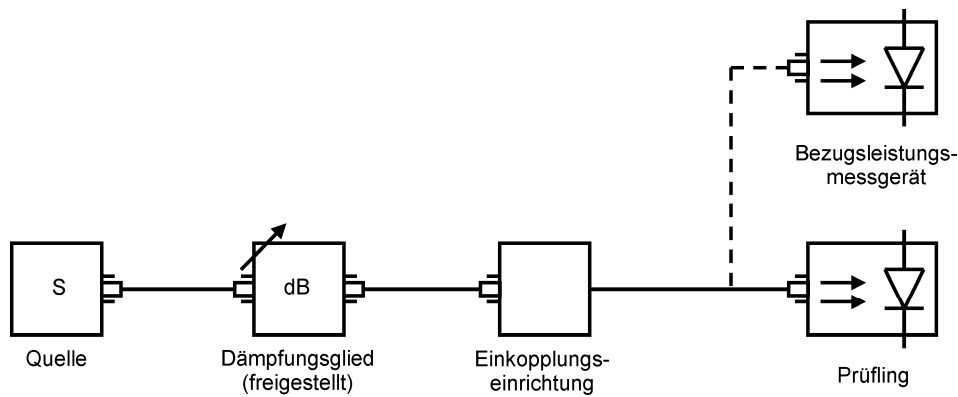


Bild 3 – Messaufbau für sequentielle lichtwellenleitergestützte Kalibrierung

## 5.2 Herstellung der Kalibrierbedingungen

Die Kalibrierbedingungen (3.4) sind die Messbedingungen während des Kalibriervorgangs. Die Herstellung und Aufrechterhaltung der Kalibrierbedingungen stellt einen wichtigen Teil der Kalibrierung (3.3) dar, weil jede Änderung dieser Bedingungen zu fehlerhaften Messergebnissen führen kann. Die Kalibrierbedingungen sollten eine gute Annäherung an die geplanten Betriebsbedingungen (3.18) darstellen. Dies stellt sicher, dass die (zusätzliche) Unsicherheit in der Betriebsumgebung möglichst gering ist. Die Kalibrierbedingungen sollten in Form von Nominalwerten, gegebenenfalls mit Unsicherheiten, angegeben werden. Um die Anforderungen dieser Norm zu erfüllen, umfassen die Kalibrierbedingungen mindestens:

- Datum der Kalibrierung;
- Umgebungstemperatur mit ihrer Unsicherheit, zum Beispiel  $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ ;
- relative Luftfeuchte, falls sie einen Einfluss hat; anderenfalls wird eine Luftfeuchte unterhalb des Kondensationspunkts angenommen;
- Strahlungsleistung auf der optischen Bezugsebene (3.21);
- Strahlgeometrie:
  - Offenstrahl (zum Beispiel kollimiert), beschrieben durch den Fleckdurchmesser (3.31) auf der optischen Bezugsebene, die numerische Apertur (3.17) des Strahls und die Verteilung der Bestrahlungsstärke (3.11) im Strahl. Typische Verteilungen der Bestrahlungsstärke sind Gleichverteilung, gaußförmige Verteilung oder sogar unregelmäßige Verteilung (fleckentartig).
  - Lichtwellenleitertyp und gegebenenfalls Anregungsgrad (zum Beispiel in Vorlagen für den eingeschlossenen Fluss, die in IEC 61280-4-1 definiert sind, bei Verwendung einer Mehrmodenfaser der Kategorie A1a oder A1b);
- Steckverbinder-Adapter-Kombination: Steckverbindertyp, Politur und Adapter als Teil der anregenden Quelle (falls anwendbar);
- Zentralwellenlänge (3.5) der anregenden Quelle mit ihrer Unsicherheit;
- spektrale Bandbreite (3.30) der anregenden Quelle mit ihrer Unsicherheit;
- Polarisationszustand: „unpolarisiert“ oder „polarisiert mit undefiniertem Zustand“. Bei letzterem muss die Unsicherheit durch den polarisationsabhängigen Übertragungsfaktor (3.22) nach 5.4.2 und 5.4.4 berücksichtigt werden.

Die genannten Bedingungen sind möglicherweise nicht vollständig. Es kann weitere Parameter mit signifikantem Einfluss auf die Kalibrierunsicherheit geben, die deshalb ebenfalls angegeben werden müssen.

Bei einer Kalibrierung mit einem **Offenstrahl** sollte die *optische Bezugsebene* (3.21) des Leistungsmessgeräts mittig mit einem Strahldurchmesser bestrahlt werden, der kleiner ist als die aktive Fläche der optischen Bezugsebene.

Bei einer Kalibrierung mit einem Lichtwellenleiter darf eine Einmoden- oder Mehrmodenfaser benutzt werden. Eine Einmodenfaser kann wegen ihrer reproduzierbaren Strahleigenschaften von Vorteil sein, ist aber unter Umständen nicht für alle Wellenlängen verfügbar. Wenn eine Mehrmodenfaser benutzt wird, ist eine Anre-

gung zwischen 85 % und 95 % (geringfügig unvollständig) zu bevorzugen, weil diese Anregung einfacher reproduzierbar ist (Vorlagen für den eingeschlossenen Fluss, die in IEC 61280-4-1 definiert sind, sind ein gutes Beispiel für diese Bedingung). Um eine angemessene Anregung zu erreichen, kann eine Einkopplungsvorrichtung notwendig sein. Es ist zu beachten, dass Mehrmodenfasern unregelmäßige Strahlmuster (Fleckenmuster) emittieren, wenn sie mit einer Laserdiode betrieben werden; das kann zu einer vergrößerten Messunsicherheit führen.

Eine Steckverbinder-Adapter-Kombination sollte nur angegeben werden, wenn das Leistungsmessgerät mit einem Lichtwellenleiter kalibriert wird, das heißt, nicht mit einem Offenstrahl. Es wird empfohlen, eine Kombination aus Steckverbinder und Adapter mit genügend kleiner Rückreflexion zum Leistungsmessgerät zu benutzen.

### 5.3 Kalibrierung

- (1) Geeignete Kalibrierbedingungen (5.2) sind herzustellen und aufzuzeichnen. Alle Geräte sind einzuschalten, und es ist genügend Zeit für die Stabilisierung abzuwarten.
- (2) Die Geräteeinstellungen (3.10) des Bezugsmessgeräts und des Prüflings sind entsprechend der Bedienungsanleitung vorzunehmen. Die Wellenlängen aller Geräte sind auf die Wellenlänge der Quelle einzustellen. Die entsprechenden Leistungsbereiche sind auszuwählen. Die Geräteeinstellungen beider Messgeräte sind aufzuzeichnen. Falls möglich, ist an beiden Messgeräten ein Nullpunktgleich durchzuführen.
- (3) Die optische Leistung  $P_{\text{std},1}$  ist mit dem Bezugsmessgerät zu bestimmen. Das Messergebnis ist mit dem Korrekturfaktor  $CF_{\text{std}}$  des Bezugsmessgeräts aus seinem Kalibrierbericht zu multiplizieren, falls es nicht justiert wurde. Falls erforderlich, ist das Messergebnis mit dem Korrekturfaktor  $CF_{\text{change}}$  berechnet in 5.4.3, zu multiplizieren. Das Messergebnis  $P_{\text{ref},1} = P_{\text{std},1} \times CF_{\text{std}} \times CF_{\text{change}}$  ist aufzuzeichnen. Dies ist die bestmögliche Schätzung der wahren Leistung.
- (4) Die optische Leistung ist mit dem Prüfling zu messen. Die notwendigen Korrekturen sind entsprechend den Anleitungen im Bedienungshandbuch durchzuführen. Das Messergebnis  $P_{\text{DUT},1}$  ist aufzuzeichnen.
- (5) Zu berechnen ist der erste aus einer Reihe von Korrekturfaktoren:

$$CF_{\text{comparison},1} = \frac{P_{\text{ref},1}}{P_{\text{DUT},1}} \quad (12)$$

- (6) Die Schritte (3) bis (5) sind mehrfach zu wiederholen, mit dem Ergebnis, dass mehrere Korrekturfaktoren  $CF_{\text{comparison},1}$  bis  $CF_{\text{comparison},n}$  erhalten werden.
- (7) Aus den einzelnen Korrekturfaktoren ist ein durchschnittlicher Korrekturfaktor  $CF_{\text{DUT}}$  zu berechnen und aufzuzeichnen:

$$CF_{\text{DUT}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n CF_{\text{comparison},i} \quad (13)$$

Falls gewünscht, kann die Abweichung  $D$  aus dem Korrekturfaktor berechnet werden:

$$D = \frac{1}{CF_{\text{DUT}}} - 1 \quad (14)$$

Beim späteren Gebrauch des Prüflings sind die Messergebnisse mit  $CF_{\text{DUT}}$  zu multiplizieren. Alternativ kann eine Justierung (3.2) am Prüfling vorgenommen werden, so dass der Korrekturfaktor auf 1 abgeändert wird. In diesem Fall sollte der Vergleich zur Überprüfung nach Möglichkeit wiederholt werden.

### 5.4 Kalibrierunsicherheit

Die Kalibrierunsicherheit ist die Messunsicherheit des Korrekturfaktors  $CF_{\text{DUT}}$ . Die kombinierte Standardunsicherheit wird berechnet mit:

$$u(CF_{\text{DUT}}) = \sqrt{u_{\text{setup}}^2 + u_{\text{ref}}^2 + u_{\text{DUT}}^2} \quad (15)$$

Dabei ist

$u_{\text{setup}}$  die Unsicherheit durch den Messaufbau (5.4.1);

$u_{\text{ref}}$  die Unsicherheit des Bezugsmessgeräts (5.4.2);

$u_{\text{DUT}}$  die Unsicherheit durch den Prüfling (5.4.4).

ANMERKUNG Gleichung (15) ist nur gültig, wenn die Eingangsgrößen unabhängig oder unkorreliert sind. Falls einige Eingangsgrößen erheblich korrelieren, muss die Korrelation berücksichtigt werden. Zu Einzelheiten siehe GUM.

Die erweiterte Messunsicherheit wird berechnet mit:

$$U(CF_{\text{DUT}}) = k \times u(CF_{\text{DUT}}) \quad (16)$$

Dabei ist  $k$  der Erweiterungsfaktor. Zu weiteren Einzelheiten siehe Anhang A.

#### 5.4.1 Unsicherheit durch den Messaufbau

Die folgenden Unsicherheiten können durch den Messaufbau entstehen:

- Unsicherheit durch die Instabilität der Quelle. Zusätzlich zur intrinsischen Leistungsänderung über der Zeit kann eine Laserquelle auf Änderungen der Rückreflexion und Änderungen des Polarisationszustands der rückreflektierten Leistung mit instabiler Leistung reagieren.
- Unsicherheit durch das Teilverhältnis des Strahlteilers oder Verzweigers (beim Parallelverfahren), zum Beispiel aufgrund der Polarisationsabhängigkeit.
- Abhängig vom Aufbau und vom Verfahren müssen möglicherweise andere Unsicherheiten berücksichtigt werden.

Die Instabilität der Quelle und das Teilverhältnis von Strahlteiler oder Verzweiger (beim Parallelverfahren) erzeugen eine Streuung der Messergebnisse des Korrekturfaktors. Die durch diese Instabilitäten erzeugte Unsicherheit kann aus der experimentellen Standardabweichung der bei der Kalibrierung gemessenen Korrekturfaktoren  $CF_{\text{comparison},1}$  bis  $CF_{\text{comparison},n}$  bestimmt werden (Gleichung (12)). Um diese Unsicherheit zu reduzieren, sollte die Anzahl der Vergleiche groß sein. Zu weiteren Einzelheiten zur Bestimmung der Typ-A-Unsicherheit siehe Anhang A.

$$u_{\text{setup,typeA}} = \frac{s(CF_{\text{comparison}})}{\sqrt{n}} \quad (17)$$

Dabei ist

$s(CF_{\text{comparison}})$  die experimentelle Standardabweichung der Korrekturfaktoren;

$n$  die Anzahl der Messzyklen im Kalibrierprozess.

Diese Unsicherheit kann auch aus einer Standardabweichung berechnet werden, die einmal aus Messungen bestimmt wurde und dann für alle Kalibrierungen verwendet wird, oder aus der Bestimmung einer Typ-B-Unsicherheit. Die Instabilität sollte deshalb nicht zu sehr von einer Kalibrierung zur nächsten variieren und auch nicht vom Prüfling abhängen. Die Anzahl  $n$  in Gleichung (17) ist immer die Anzahl der Messzyklen im laufenden Kalibrierprozess.

Diese Typ-A-Unsicherheit wird auch durch die Wiederholpräzision der Verbindung beeinflusst, wenn das sequentielle Verfahren angewendet wird, oder durch kleine Änderungen der Messbedingungen im Kalibrierprozess. Sie kann (teilweise) einige der Unsicherheiten des Bezugsmessgeräts (5.4.2) oder des Prüflings (5.4.4) mit einschließen. Unsicherheitsbeiträge sollten nicht doppelt berücksichtigt werden, aber auch nicht vergessen werden.

Die Unsicherheit durch den Messaufbau ist aus der Kombination aller Teilunsicherheiten zu berechnen, die in diesem Abschnitt beschrieben sind:

$$u_{\text{setup}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{\text{setup}, i}^2} \quad (18)$$

#### 5.4.2 Unsicherheit des Bezugsmessgeräts

Die Unsicherheit des Bezugsmessgeräts ist hauptsächlich bedingt durch seine Kalibrierung, die Unsicherheiten der aktuellen Kalibrierbedingungen (3.4) und die Abhängigkeit des Bezugsmessgeräts von diesen Bedingungen.

Die nachfolgend aufgeführten Unsicherheiten sind zu bestimmen. Die Bestimmung kann auf der Basis von Messungen oder Schätzungen oder einer Mischung aus beidem erfolgen. Die Berechnung der Unsicherheiten ist in Anhang A beschrieben. Die Messung der Abhängigkeit von den Bedingungen ist in 6.3.1 beschrieben.

- a) Kalibrierunsicherheit des Bezugsmessgeräts. Sie ist dem Kalibrierzertifikat zu entnehmen;
- b) Unsicherheit  $u_{\text{change}}$  aufgrund des Unterschieds zwischen den Bedingungen, unter denen das Bezugsmessgerät kalibriert wurde, und den aktuellen Kalibrierbedingungen, wie in 5.4.3 berechnet;
- c) Unsicherheit aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Bezugsmessgeräts;
- d) Unsicherheit aufgrund der Abhängigkeit des Bezugsmessgeräts von der relativen Luftfeuchte. Leistungsmessgeräte mit integrierter Ulbrichtkugel sind bei Benutzung von schmalbandigen Laserquellen besonders empfindlich auf Wasserabsorptionsspitzen;
- e) Unsicherheit durch die Abhängigkeit des Bezugsmessgeräts von der Strahlgeometrie;
- f) Unsicherheit durch die Abhängigkeit von Vielfachreflexionen. Vielfachreflexionen können zwischen dem optischen Eingangstor und der Strahlungsquelle (zum Beispiel durch eine Steckverbinder-Adapter-Kombination) entstehen. Verschiedene Artefakte verändern die gemessene Leistung;
- g) Unsicherheit durch die Wellenlängenabhängigkeit des Bezugsmessgeräts;
- h) Unsicherheit durch die Abhängigkeit des Bezugsmessgeräts von der spektralen Bandbreite;
- i) Unsicherheit durch die Polarisationsabhängigkeit des Bezugsmessgeräts, außer wenn unpolarisiertes oder depolarisiertes Licht für die Kalibrierung verwendet wird;
- j) Unsicherheit durch optische Interferenz. Zwischen den Oberflächen von Empfänger, Fenster und Ende des Steckverbinders können Fabry-Perot-Hohlräume entstehen, falls verwendet.
- k) Unsicherheit durch die Auflösung des Bezugsmessgeräts. Bei einer Auflösung  $\delta y_{\text{ref}}$  des Bezugsmessgeräts ergibt sich die Standardunsicherheit zu (siehe GUM, F.2.2.1):

$$u_{\text{ref, resolution}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \delta y_{\text{ref}} \quad (19)$$

- l) Unsicherheiten durch andere Abhängigkeiten des Bezugsmessgeräts. Abhängig vom Typ des Bezugsmessgeräts kann es andere Unsicherheiten des Bezugsmessgeräts geben. Diese sollten nach Möglichkeit auch gemessen oder geschätzt werden.

Es ist zu beachten, dass Alterung als Änderung der Bedingung aufgefasst wird, wobei die Zeit die Einflussbedingung ist. Die abgelaufene Zeit  $\Delta t$  zwischen der Kalibrierung des Bezugsmessgeräts und dessen Benutzung bei der Kalibrierung des Prüflings ist bekannt und ihre Unsicherheit ist  $u(\Delta t) = 0$ . Die Unsicherheit aufgrund der Alterung des Bezugsmessgeräts wird mit Hilfe von 5.4.3.1 berechnet und ist in Punkt b) berücksichtigt.

Die kombinierte Standardunsicherheit des Bezugsmessgeräts aus den  $n$  genannten Standardunsicherheiten wird berechnet mit:

$$u_{\text{ref}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{ref},i}^2 + u_{\text{change}}^2} \quad (20)$$

Dabei ist  $u_{\text{change}}$  die Unsicherheit aufgrund der Änderungen der Bedingungen, die nach 5.4.3 bestimmt wird.

### 5.4.3 Korrekturfaktoren und Unsicherheiten aufgrund von Änderungen der Bedingungen

Das Bezugsmessgerät kann unterschiedliche Übertragungsfaktoren aufweisen, weil es unter Bedingungen kalibriert wurde, die von den aktuellen Kalibrierbedingungen abweichen. Beispiele für Unterschiede zwischen den beiden Sätzen von Messbedingungen sind: Parallelstrahl gegenüber divergentem Strahl, unterschiedliche Spektren der Quelle, ein reflexionsfreier Aufbau gegenüber einem Aufbau mit Mehrfachreflexionen oder eine große Zeitspanne zwischen den beiden Bezugsdaten, was zur Alterung des Normals führt.

Wenn die Bedingungen, unter denen das Bezugsmessgerät kalibriert wurde, nominal identisch mit den aktuellen Kalibrierbedingungen sind (deren Unsicherheiten können unterschiedlich sein), und die Alterung des Bezugsmessgeräts vernachlässigbar ist, kann dieser Abschnitt übersprungen werden ( $CF_{\text{change}} = 1$ ).

Wie in Bild 4 dargestellt, umfasst jede Änderung die nominale Änderung der Bedingung und die Änderung der Unsicherheit.

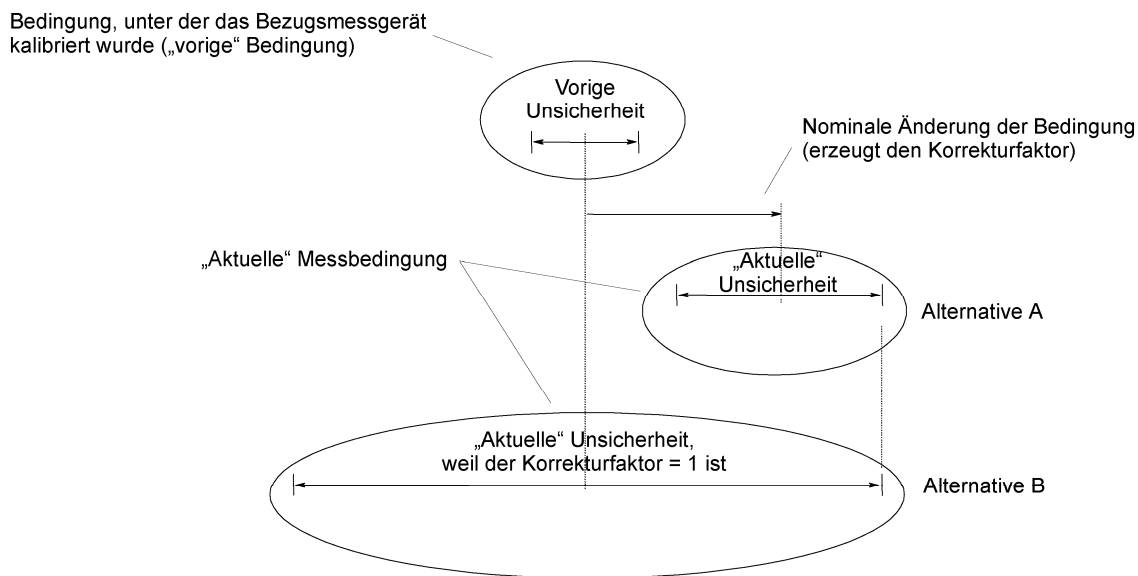


**Bild 4 – Änderung der Bedingungen und Unsicherheit**

Bei jedem möglichen Fehlerbeitrag (5.4.3.1 bis 5.4.3.8) sollte entschieden werden, ob die Berechnung eines Korrekturfaktors sinnvoll ist oder nicht. **Alternative A** schließt die Berechnung eines Korrekturfaktors ein, mit dem Ergebnis einer relativ kleinen Unsicherheit. **Alternative B** bedeutet Verzicht auf Korrekturfaktoren (oder  $CF_{\text{change}} = 1$ ) und das Inkaufnehmen von größeren Unsicherheiten, um die Bedingungen des ungünstigsten Falls mit einzuschließen.

Wenn Alternative A gewählt wird, ist der (akkumulierte) Korrekturfaktor:

$$CF_{\text{change}} = \frac{r_{\text{previous}}}{r_{\text{current}}} \quad (21)$$

oder

$$CF_{\text{change}} = 1 - \Delta r \quad (22)$$

Dabei ist

- $r_{\text{previous}}$  der Übertragungsfaktor des Bezugsmessgeräts mit der Anregung bei den Bedingungen, unter denen es kalibriert wurde;
- $r_{\text{current}}$  der Übertragungsfaktor des Bezugsmessgeräts bei Anregung unter den aktuellen Kalibrierbedingungen;
- $\Delta r$  die relative Änderung des Übertragungsfaktors  $\Delta r = (r_{\text{previous}} - r_{\text{current}})/r_{\text{current}}$

Der (akkumulierte) änderungsbedingte Korrekturfaktor des Bezugsmessgeräts  $CF_{\text{change},i}$  ist durch Akkumulation der partiellen Korrekturfaktoren zu berechnen, wie in 5.4.3.1 bis 5.4.3.8 beschrieben. Für jede Einflussgröße  $X_i$  ist mit der Berechnung des partiellen Korrekturfaktors zu beginnen:

$$CF_{\text{change},i} = 1 - \Delta r_i \quad (23)$$

Die relative Änderung des Übertragungsfaktors  $\Delta r_i$  kann direkt gemessen werden, indem die Einflussgröße von der „vorherigen“ auf die „aktuelle“ Kalibrierbedingung geändert wird, oder sie kann aus der nominalen Änderung der Einflussgröße und der nominalen Abhängigkeit des Bezugsmessgeräts von dieser Größe berechnet werden:

$$CF_{\text{change},i} = 1 - c_i \times \Delta x_i \quad (24)$$

Dabei ist  $c_i$  die partielle Ableitung des relativen Übertragungsfaktors bezüglich der Einflussgröße  $X_i$  und wird als **Empfindlichkeitskoeffizient** bezeichnet:

$$c_i = \frac{1}{r_0} \frac{\partial r}{\partial x_i} \quad (25)$$

Wenn der Empfindlichkeitskoeffizient nicht genau bekannt ist, muss die folgende Typ-B-Unsicherheit berücksichtigt werden:

$$u_{\text{change},i} = u(c_i) \times \Delta x_i \quad (26)$$

Dabei ist  $u(c_i)$  die Standardunsicherheit des Empfindlichkeitskoeffizienten. Die Messung der Abhängigkeiten wird in 6.3 erläutert.

Abschließend wird der akkumulierte Korrekturfaktor des Bezugsmessgeräts aus den zuvor genannten Beiträgen berechnet:

$$CF_{\text{change}} = \prod_{i=1}^n CF_{\text{change},i} \quad (27)$$

und die kombinierte Standardunsicherheit aufgrund der Änderung der Kalibrierbedingungen:

$$u_{\text{change}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{change},i}^2} \quad (28)$$

Dieser Korrekturfaktor entspricht einer **bekannten** Änderung des Übertragungsfaktors des Bezugsmessgeräts aufgrund der beiden unterschiedlichen Sätze von Messbedingungen. Es handelt sich um einen Korrekturfaktor, der auf die vom Bezugsmessgerät abgelesene Leistung anzuwenden ist (siehe 5.3).

#### 5.4.3.1 Alterung

Wie in 5.4.2 erwähnt, gilt Alterung als Änderung einer Bedingung. Normalerweise wird kein Korrekturfaktor berechnet ( $CF = 1$ ), außer wenn der Alterungskoeffizient gut bekannt und über einen langen Zeitraum stabil

ist. Die Unsicherheit sollte durch Multiplikation der zwischen der Kalibrierung des Bezugsmessgeräts und dessen Gebrauch für die Kalibrierung des Prüflings verstrichenen Zeit  $\Delta t$  mit der Unsicherheit des Alterungskoeffizienten des Bezugsmessgeräts  $u(c_t)$  berechnet werden.

$$u_{\text{change},t} = u(c_t) \times \Delta t \quad (29)$$

Beispiel: Es sind nur die Grenzen der Alterung mit  $\pm 0,1$  %/Jahr bekannt. Nach Anhang A ist der Alterungskoeffizient  $c_t = 0$  %/Jahr und seine Unsicherheit  $u(c_t) = 0,1/\sqrt{3}$  %/Jahr.

Ein Jahr nach seiner Kalibrierung ist Unsicherheit aufgrund der Alterung des Bezugsmessgeräts demnach:

$$u_{\text{change},t} = u(c_t) \times \Delta t = 0,1/\sqrt{3} \text{ \%/Jahr} \times 1 \text{ Jahr} = 0,06 \text{ \%} \quad (30)$$

#### 5.4.3.2 Korrekturfaktor aufgrund von Temperaturänderung

Der Korrekturfaktor  $CF_{\text{change},\Theta}$  sollte mit Hilfe der nominalen Änderung zwischen der „vorherigen“ und der „aktuellen“ Temperatur  $\Delta\Theta$  und dem Temperaturempfindlichkeitskoeffizienten des Bezugsmessgeräts  $c_\Theta$  (zum Beispiel in %/°C) berechnet werden.

$$CF_{\text{change},\Theta} = 1 - c_\Theta \times \Delta\Theta \quad (31)$$

#### 5.4.3.3 Korrekturfaktor aufgrund von Leistungspegeländerung

Die Unsicherheit sollte aus der Nichtlinearität des Bezugsmessgeräts zwischen dem „vorherigen“ und dem „aktuellen“ Leistungspegel berechnet werden. Falls nötig, kann ein Korrekturfaktor berechnet werden:

$$CF_{\text{change},NL} = 10^{\frac{-NL}{10}} \quad (32)$$

Dabei ist  $NL$  die Nichtlinearität in Dezibel (dB). Die Messung der Nichtlinearität ist in Abschnitt 7 beschrieben.

#### 5.4.3.4 Korrekturfaktor aufgrund von Strahlgeometrieänderung

Der Korrekturfaktor sollte mit Hilfe der gemessenen Änderung des Übertragungsfaktors aufgrund der Änderung der Strahlgeometrie berechnet werden.

#### 5.4.3.5 Korrekturfaktor aufgrund der Abhängigkeit von Mehrfachreflexionen

Das optische Eingangstor des Bezugsmessgeräts sollte im Allgemeinen als reflektierend angenommen werden. Eine derartige Reflexion läuft zur Quelle zurück, wird nochmals reflektiert und erhöht schließlich die angezeigte optische Leistung. Dieser Effekt macht einen Korrekturfaktor (üblicherweise  $< 1$ ) erforderlich und führt zu einer erhöhten Unsicherheit.

Falls zum Beispiel die bei der Kalibrierung des Bezugsmessgeräts benutzte Quelle reflexionsfrei und die Quelle bei der Kalibrierung des Prüflings reflektierend ist (verursacht durch einen optischen Steckverbinder), so ist die vom Bezugsmessgerät angezeigte Gesamtleistung um die zweite Reflexion fehlerhaft. Wenn angenommen wird, dass die zweite Reflexion zusätzlich 5 % zur Gesamtleistung beiträgt, dann beträgt der individuelle Korrekturfaktor 0,95. Diese Art von Fehler kann durch die Verwendung von Quellen mit hochabsorbierenden Einfassungen beziehungsweise durch die Benutzung von reflexionsarmen Steckverbinder-Adapter-Kombinationen reduziert werden.

#### 5.4.3.6 Korrekturfaktor aufgrund von Wellenlängenänderung

Der Korrekturfaktor sollte mit Hilfe der nominalen Änderung der Wellenlänge und der nominalen Wellenlängenabhängigkeit des Bezugsmessgeräts  $c_\lambda$  berechnet werden.

$$CF_{\text{change},\lambda} = 1 - c_{\lambda} \times \Delta\lambda \quad (33)$$

#### 5.4.3.7 Korrekturfaktor aufgrund der Änderung der spektralen Bandbreite

Der Korrekturfaktor sollte mit Hilfe der nominalen Änderung der spektralen Bandbreite und der nominalen Abhängigkeit des Bezugsmessgeräts von der spektralen Bandbreite berechnet werden. Es ist zu beachten, dass der Korrekturfaktor gleich 1 bleibt, solange die (unkorrigierte) Wellenlängenabhängigkeit innerhalb der spektralen Bandbreite der Quelle **linear** ist. Falls die Wellenlängenabhängigkeit gekrümmt ist, kann der Korrekturfaktor mit Hilfe der Wellenlängenabhängigkeit des Bezugsmessgeräts und den Spektren der beiden bei der Kalibrierung des Bezugsmessgeräts und bei der Kalibrierung des Prüflings benutzten Quellen berechnet werden.

#### 5.4.3.8 Andere Korrekturfaktoren

Abhängig von der Art des Bezugsmessgeräts und den Kalibrierbedingungen kann es andere Korrekturfaktoren geben. Diese sollten ebenfalls gemessen oder abgeschätzt werden, wie zuvor beschrieben.

### 5.4.4 Unsicherheiten durch den Prüfling

Unsicherheiten durch den Prüfling entstehen hauptsächlich durch Unsicherheiten der Kalibrierbedingungen und die Abhängigkeit des Prüflings von diesen Bedingungen. Die folgenden Unsicherheiten sind zu bestimmen. Sie werden ähnlich wie in 5.3.2 bestimmt. Die Berechnung der Unsicherheiten ist in Anhang A beschrieben, die Messung in Abhängigkeit von den Bedingungen ist in 6.2.1 beschrieben.

- a) Unsicherheit aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Prüflings;
- b) Unsicherheit aufgrund der Abhängigkeit des Prüflings von der relativen Feuchte. Leistungsmessgeräte mit integrierter Ulbrichtkugel sind bei Benutzung von schmalbandigen Laserquellen besonders empfindlich auf Wasserabsorptionsspitzen;
- c) Unsicherheit durch die Abhängigkeit des Prüflings von der Strahlgeometrie. Diese Unsicherheit entsteht durch die Ungleichförmigkeit und die Winkelabhängigkeit des optischen Eingangstors des Prüflings;
- d) Unsicherheit durch die Abhängigkeit von Vielfachreflexionen. Zwischen dem optischen Eingangstor und der Strahlungsquelle (zum Beispiel eine Steckverbinder-Adapter-Kombination) können Vielfachreflexionen entstehen. Verschiedene Artefakte verändern die gemessene Leistung;
- e) Unsicherheit durch die Wellenlängenabhängigkeit des Prüflings;
- f) Unsicherheit durch die Abhängigkeit von der spektralen Bandbreite des Prüflings;
- g) Unsicherheit durch die Polarisationsabhängigkeit des Prüflings, außer wenn unpolarisiertes oder depolarisiertes Licht für die Kalibrierung verwendet wird;
- h) Unsicherheit durch optische Interferenz. Fabry-Perot-Hohlräume können zwischen den Oberflächen des Empfängers und des Fensters und dem Steckverbinder entstehen, falls verwendet;
- i) Unsicherheit durch die Auflösung des Prüflings. Bei einer Auflösung  $\delta y_{\text{DUT}}$  des Bezugsmessgeräts ist die Standardunsicherheit (siehe GUM, F.2.2.1):

$$u_{\text{DUT, resolution}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \delta y_{\text{DUT}} \quad (34)$$

- j) Unsicherheiten durch andere Abhängigkeiten des Prüflings. Abhängig vom Typ des Prüflings und vom Kalibrierprozess kann es andere Bedingungen geben, die Unsicherheiten verursachen.

Anschließend ist der kombinierte Standardunsicherheitsbeitrag des Prüflings aus den zuvor genannten  $n$  Standardunsicherheiten zu berechnen:

$$u_{\text{DUT}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{DUT},i}^2} \quad (35)$$

## 5.5 Angabe der Ergebnisse

Alle Kalibrierergebnisse sollten entsprechend den Anforderungen in ISO/IEC 17025 angegeben werden. Kalibrierzertifikate oder Kalibrierberichte, die sich auf diese Norm beziehen, müssen mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- alle Kalibrierbedingungen (3.4), wie in 5.2 beschrieben;
- Korrekturfaktor(en) (3.6) oder Abweichung(en) (3.8) des Prüflings, falls der Prüfling nicht justiert wurde;
- Korrekturfaktoren oder Abweichungen beim Empfang und Korrekturfaktoren oder Abweichungen nach der Justierung (3.2), falls eine Justierung vorgenommen wurde;
- Kalibrierunsicherheit in Form einer erweiterten Messunsicherheit, wie in 5.4 beschrieben;
- Geräteeinstellungen (3.10) des Prüflings während der Kalibrierung;
- Nachweis, dass die Messungen rückführbar sind (siehe ISO/IEC 17025:2005, 5.10.4.1 c)).

## 6 Messunsicherheit eines kalibrierten Leistungsmessgeräts

### 6.1 Allgemeines

Die Messunsicherheit eines kalibrierten Leistungsmessgeräts ist größer als seine Kalibrierunsicherheit. Sie ist die Kombination aus der Kalibrierunsicherheit und den Unsicherheitsbeiträgen aufgrund der Abhängigkeit des Leistungsmessgeräts von den Messbedingungen.

Die Bestimmung der Messunsicherheit eines kalibrierten Leistungsmessgeräts bei Bezugsbedingungen oder bei Betriebsbedingungen ist nicht Teil des Kalibrierprozesses. Sie wird beispielsweise von Herstellern von Leistungsmessgeräten durchgeführt, um Spezifikationen zu erstellen. Sie ist für Kalibrierzertifikate oder Kalibrierberichte entsprechend dieser Norm nicht vorgeschrieben.

### 6.2 Unsicherheit bei Bezugsbedingungen

*Bezugsbedingungen* (3.25) werden für die Prüfung der Leistungsfähigkeit eines Leistungsmessgeräts oder für Ringvergleiche benutzt. Sie werden normalerweise von Herstellern definiert, um die kleinstmögliche Unsicherheit eines Messgeräts festzulegen; deshalb sind sie oft identisch mit oder ähnlich den Kalibrierbedingungen.

Die Unsicherheit unter Bezugsbedingungen ist die Unsicherheit eines Messergebnisses, das mit einem kalibrierten und justierten Leistungsmessgerät bei Bezugsbedingungen aufgenommen wurde. Sie hängt von der Kalibrierunsicherheit des Leistungsmessgeräts, den Bezugsbedingungen und der Abhängigkeit des Leistungsmessgeräts von den Bezugsbedingungen ab. Deshalb ist die Unsicherheit unter Bezugsbedingungen stets größer als die Kalibrierunsicherheit. Selbst wenn die Bezugsbedingungen identisch mit den Kalibrierbedingungen sind (keine Unsicherheit aufgrund der Änderung von Bedingungen), sind die Abhängigkeiten des Prüflings von den Bezugsbedingungen für einen zweiten Zeitpunkt (quadratisch) zur Kalibrierunsicherheit zu addieren. Die Berechnung der Unsicherheit bei Bezugsbedingungen eines kalibrierten Messgeräts ist ähnlich wie die in 5.4.2 beschriebene Berechnung der Messunsicherheit des Bezugsmessgeräts bei Kalibrierbedingungen:

$$u_{\text{DUT,ref\_conditions}} = \sqrt{u^2(CF_{\text{DUT}}) + u_{\text{DUT}}^2} \quad (36)$$

Dabei ist

$u(CF_{\text{DUT}})$  die Kalibrierunsicherheit des Prüflings, wie nach 5.4 bestimmt;

$u_{\text{DUT}}$  die Unsicherheit aufgrund der Abhängigkeit des Prüflings von den Bezugsbedingungen, wie nach 5.4.4 bestimmt.

Die Bezugsbedingungen sollten auf die gleiche Art und Weise beschrieben werden wie die Kalibrierbedingungen in 5.2.

### 6.3 Unsicherheit bei Betriebsbedingungen

Die Unsicherheit bei Betriebsbedingungen (oder Betriebsunsicherheit, siehe IEC 60359, 2.2.11) ist die Unsicherheit eines mit einem kalibrierten und justierten Leistungsmessgerät aufgenommenen Messergebnisses, wenn es in einem Bereich von Betriebsbedingungen (3.18) benutzt wird. Sie hängt von der Kalibrierunsicherheit, den Betriebsbedingungen und der Abhängigkeit des Leistungsmessgeräts von den Betriebsbedingungen ab:

$$u_{\text{DUT,operating}} = \sqrt{u^2(CF_{\text{DUT}}) + u_{\text{extension}}^2} \quad (37)$$

Dabei ist

$u(CF_{\text{DUT}})$  die Kalibrierunsicherheit des Prüflings, wie nach 5.4 bestimmt;

$u_{\text{extension}}$  die Ausweitungsunsicherheit aufgrund der Abhängigkeit des Messgeräts von den Betriebsbedingungen, wie nach Gleichung (38) bestimmt.

Im Gegensatz zu den in 5.2 beschriebenen *Kalibrierbedingungen* (3.4) sollte jede Betriebsbedingung möglichst durch einen Bereich beschrieben werden. Die Betriebsbedingungen sind festgelegt durch:

- die größte Zeitspanne zwischen den Rekalibrierungen;
- den Bereich der Umgebungstemperaturen;
- den Bereich der Leistungspegel (Messbereich);
- den Bereich der Strahlgeometrien, beschrieben durch deren Fleckdurchmesser und numerische Apertur, oder durch die Lichtwellenleitertypen;
- die verwendbaren Steckverbinder-Adapter-Kombinationen, falls zutreffend;
- den Wellenlängenbereich der Quelle;
- die größte spektrale Bandbreite der Quelle.

Alle möglichen Polarisationszustände sind Teil der Betriebsbedingungen, wenn nicht anderes angegeben ist. Außerdem wird eine relative Feuchtigkeit unterhalb des Kondensationspunkts angenommen.

Die genannten Bedingungen dürfen entweder vom Hersteller des Leistungsmessgeräts oder von dem für die Kalibrierung bei Betriebsbedingungen verantwortlichen Kalibrierlabor festgelegt werden.

Um die Ausweitungsunsicherheit zu berechnen, sind sämtliche Unsicherheiten aufgrund der Abhängigkeit von den Bedingungen zu kombinieren:

$$u_{\text{extension}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{extension},i}^2} \quad (38)$$

Dabei ist/sind

$u_{\text{extension},i}$  die Beiträge zur Ausweitungsunsicherheit;

$n$  die Gesamtanzahl der Beiträge.

#### 6.3.1 Bestimmung der Abhängigkeiten von Bedingungen

Jede Abhängigkeit sollte als relative Änderung des Übertragungsfaktors des Messgeräts aufgezeichnet werden, die durch Änderung der entsprechenden Betriebsbedingung innerhalb seines *Betriebsbereiches* verursacht wird. Während der Prüfung sollten alle anderen Bedingungen den *Kalibrierbedingungen* entsprechen. Der Nullpunkt ist durch den Übertragungsfaktor bei Kalibrierbedingungen definiert. So kann jede Abhängigkeit durch einen Bereich festgelegt werden, der durch die maximal positive und die maximal negative Änderung des Übertragungsfaktors definiert ist. Das übliche Ergebnis ist ein um den Nullpunkt asymmetrischer Bereich, wie in Bild 5 dargestellt.