

# XVIII Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten

Zur Kalibrierung von faseroptischen Komponenten und Messgeräten steht das optische Kalibriersystem im Mainframe EXFO IQ-203 und dessen Kalibrieranwendungen IQ-12002 bzw. IQ-200 zur Verfügung.

## XVIII.1 Vorbereitung

### XVIII.1.1 Reinigung von Steckerstirnflächen

Sichere Kalibrierergebnisse sind erst nach visueller Inspektion sämtlicher Konnektoren und optischen Schnittstellen des Kalibriergegenstandes zu erreichen. Um den Zustand der Anschlüsse zu überprüfen werden bei 400-facher Vergrößerung alle Steckerstirnflächen inspiziert und gereinigt. Kratzer und Verunreinigungen werden mittels USB-Mikroskop vor und nach der Reinigung festgehalten und als Anhang den Messergebnissen beigelegt. Ggf. muss auch der Austausch von verschlissenen Schnittstellen veranlasst werden. Details, weitere Hilfsmittel, Bewertungskriterien, benötigtes Reinigungsmaterial etc. sind der Arbeitsanweisung (Application Note) *EXFO ANOTE058.2an Connector Maintenance* zu entnehmen.

### XVIII.1.2 Starten einer IQ-12002 Anwendung

Über den IQ-200 Launcher der Softwareoberfläche des optischen Kalibriersystems werden die Anwendungen gestartet. Dabei können die Mess- und Hilfsgeräte im manuellen Modus oder halbautomatisch betrieben werden. Die Einzelheiten hierzu sind in der Betriebsanleitung *IQ-200 Optical Test System* nachzulesen. In der Regel erfolgt die Kalibrierung geführt über die Kalibrieroberfläche in immer denselben Einzelschritten des Ablaufs.

### XVIII.1.3 Aufwärmphase

Für den ordnungsgemäßen Betrieb werden Aufwärmphasen aller elektrischen und elektronischen Geräte von 30 Minuten und länger empfohlen. Des Weiteren sollten Kalibriergegenstände zur Vorbereitung vor der Kalibrierung mindestens 8 Stunden zum Temperatúrausgleich im Labor gelagert werden.

## XVIII.2 Absolutleistung (Kalibrierungsfaktor)

### XVIII.2.1 Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung auf Absolutleistung erfolgt im Vergleichsverfahren, indem zuerst die über einen variablen Abschwächer (EXFO IQ-1300) zur Verfügung gestellte Leistung am Lichtleiterende mit dem Normalleistungsmesser

- EXFO IQ-1502

gemessen und in der Folgemessung bei identischen Testparametern am Kalibriergegenstand eingespeist wird. Dafür stehen folgende hochstabile Laser-Lichtquellen zur Verfügung (TE Cooled Distributed Feedback Laser):

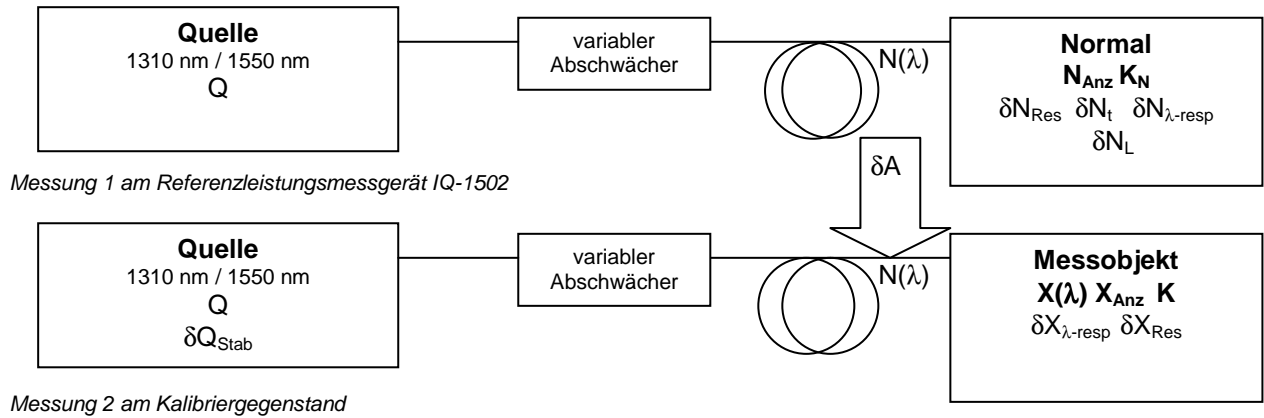
- EXFO IQ-2102 BLD (1310 nm) und
- EXFO IQ-2403 BLD (1550 nm)

Vor Beginn jeder Kalibrierung wird sowohl am Referenzgerät als auch am Kalibriergegenstand (soweit vorhanden) ein Nullabgleich ohne Lichteinfall mit geschlossenem Detektor durchgeführt. Die Anschlusstechnik der Konnektoren wird an das Messobjekt angepasst (z.B. FC/PC) und darf während der Kalibrierung nicht mehr gewechselt werden. Das IQ-1502 besitzt hierzu einen universellen faseroptischen Adapter (FOA), der einen Anschluss der gängigsten Konnektortypen ohne weitere Adapter zulässt. Da Bewegungen der Faser den hauptsächlichsten Anteil für die Wiederholbarkeit der Messergebnisse an Referenzleistungsmesser und Messobjekt bilden darf die Anschlussfaser nur möglichst wenigen Bewegungen oder Drehungen unterworfen werden: Bei jeder Messung ist auf minimale Änderung der Lage als auch auf Einhaltung des Biegeradius (>10 cm) zu achten. Hintereinander werden dann die Messungen im Wechsel am Referenzgerät IQ-1502 und am Kalibriergegenstand durchgeführt, deren Mittelwerte aus mindestens 5 Einzelmessungen gebildet und zur Berechnung des Kalibrierungsfaktors herangezogen werden. Alle Parameter des Messaufbaus, Testwellenlänge, verwendete Faser (z.B. Singlemode 9/125 µm), Konnektoren und Geräteeinstellungen werden soweit sinnvoll im Kalibrierschein vermerkt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	1 von 10

**XVIII.2.2 Messunsicherheitsbudget**

Skizze des Messverfahrens:



**vorgegebene bzw. abgelesene Größen:**

- $N(\lambda)$  einfallende Leistung bei Wellenlänge  $\lambda$  mit  $\lambda = 1310 \text{ nm}$  und  $\lambda = 1550 \text{ nm}$
- $X(\lambda)$  angezeigte Leistung bei Wellenlänge  $\lambda$
- $K_N$  Kalibrierungsfaktor des Normals  
Die Kalibrierungsfaktoren wurden bei Kalibrierung des Normals mit Unsicherheiten  $U(N_{Kal})$  von 0,7% ( $2\sigma$ -Normalverteilung) nachgewiesen (Metas Rückführung).
- $N_{Anz}$  abgelesener Kalibrierwert am Normal. Das Anzeigerauschen wird als Typ A Unsicherheit automatisch ermittelt und im Unsicherheitsbudget aufgenommen. In der Regel ist das Anzeigerauschen der Einzelmessung am Referenzleistungsmesser aber hinreichend klein und kann für die Berechnung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit daher zu Null angenommen werden (s.a.  $X_{Anz}$ ).
- $X_{Anz}$  Anzeige am Kalibriergegenstand. Die Standardunsicherheiten aus den Beobachtungen der Einzelmessungen (Anzeigerauschen,  $u(X_{Anz})$ ) können gemäß DKD-3 ermittelt und als Typ A Unsicherheit dem Unsicherheitsbudget hinzugefügt werden. Die gemeinsame Standardabweichung der Reproduktion an Referenzleistungsmesser und Kalibriergegenstand wird jedoch während der Messung bereits errechnet und in  $u(\bar{k})$  berücksichtigt. Daher wird dieser Unsicherheitsbeitrag ebenfalls zu Null gesetzt werden.
- $Q$  Ausgangsleistung der Lichtquelle

**Gesuchte Größe:**

- $K$  Kalibrierungsfaktor des Messobjekts

**Modellgleichung:**

Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich der Kalibrierungsfaktor des Messobjektes zu (mit  $\delta N_{Res} = 0$ ):

$$K = \frac{K_N \cdot N(\lambda)}{X(\lambda)} = \frac{K_N \cdot N_{Anz} + \delta N_t + \delta N_L + \delta N_{\lambda-resp} + \delta Q_{Stab} + \delta A}{X_{Anz} + \delta X_{Res} + \delta X_{\lambda-resp}}$$

**Effektive Freiheitsgrade:**

Da die Streuung der Messergebnisse einen beträchtlichen Anteil aufweist, werden die effektiven Freiheitsgrade einer Stichprobe der Länge  $n$  berücksichtigt (Abschätzung nach DKD-3, Anhang E). Die Ergebnisse der Durchgänge der Stichprobe werden in dem Modell

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>geprüft/ genehmigt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>Kapitel</b> XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	<b>Seite</b> 2 von 10
---------------------------	--	--	---	--------------------------

$$K_{av} = K + \delta K$$

für den gemittelten Kalibrierungsfaktor  $K_{av}$  als unabhängige Beobachtungen behandelt.  
Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich gemäß DKD-3:2002 Abschnitt 4 aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis  $K$  beizuordnende erweiterte Messunsicherheit (mit  $k=2$  nach Tabelle E2) die **erweiterte Messunsicherheit**:

$$U_{abs}(K)_{k=2} = W_{rel}(K) = 1,3\%$$

Es kann gezeigt werden, dass bei Stichproben der Länge  $n=5$  Standardabweichungen bis etwa 0,9% für einen von  $k=2$  abweichenden Erweiterungsfaktor nicht relevant sind.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	3 von 10

### XVIII.3 Linearität

#### XVIII.3.1 Additionsmethode

Kleinste Messunsicherheiten bei Linearitätsmessung werden durch Anwendung der Additions-Methode erzielt. Dabei wird mit zwei Kopplern zunächst die Quelleistung aufgeteilt und mit einem zweiten Koppler wieder zusammengeführt. Durch die elektronischen Verschlusskappen (Shutter) der Koppler können die getrennten Leistungspfade („Arme“) einzeln ausgeblendet und zusammengeführt werden. Bei einem linearen Leistungsmessgerät muss die Summe der Einzelpfade dann die Gesamtleistung bei geöffneten Verschlusskappen ergeben.

Dazu wird die Leistung jedes Pfades ( $P_a$  und  $P_b$ ) getrennt voneinander und die Leistung beider Pfade zusammen ( $P_{total}$ ) gemessen. Die lokale Linearität im k-ten Messschritt bei N Messungen errechnet sich dann zu

$$L_{lokal,k} = P_{total,k} - (P_{a,k} + P_{b,k}) \text{ für } 1 \leq k \leq N$$

als Differenz aus Gesamtleistung und Summe der einzelnen Pfade. Die Summe der lokalen Linearitätswerte von der Referenzleistung aus ergibt die globale Linearität der k-ten Zeile (Messung).

$$L_{global,k} = 0dB - \sum_{n=0}^{k-1} LL_{lokal,n} \text{ und } 1 \leq k \leq N+1$$

Der höchste Betrag der globalen Linearität ergibt dann die totale Linearität des Kalibriergegenstandes.

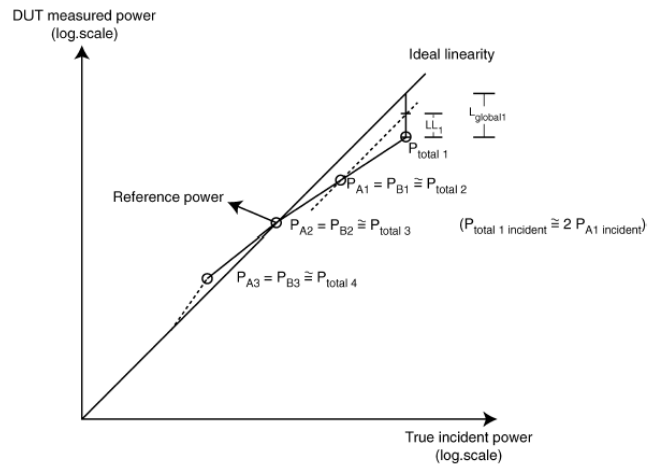
$$L_{total} = \text{Max}(L_{global})$$

Die Berechnung der lokalen, globalen und totalen Linearitätswerte geschieht Software-gesteuert und automatisch bei Eingabe der Messwerte des Messobjektes. Gemessen wird jeweils abwärts und aufwärts bei abnehmender bzw. zunehmender Leistung und vorigem Nullabgleich der Instrumente. Um sicherzustellen, dass die optischen Splitter symmetrisch auskoppeln

Pa (dBm)	Pb (dBm)	Pa + Pb (dBm)	Ptotal (dBm)	LL (%)	LL (dB)	Lglobal (dB)
-11.6350	-11.6220	-8.6182	-8.6180	0.00	0.0002	0.0000
-14.7340	-14.7210	-11.7172	-11.7170	0.00	0.0002	-0.0002
-17.7300	-17.7180	-14.7137	-14.7140	-0.01	-0.0003	-0.0004
-20.7440	-20.7320	-17.7277	-17.7280	-0.01	-0.0003	-0.0001
-23.7550	-23.7450	-20.7397	-20.7390	0.02	0.0007	0.0002

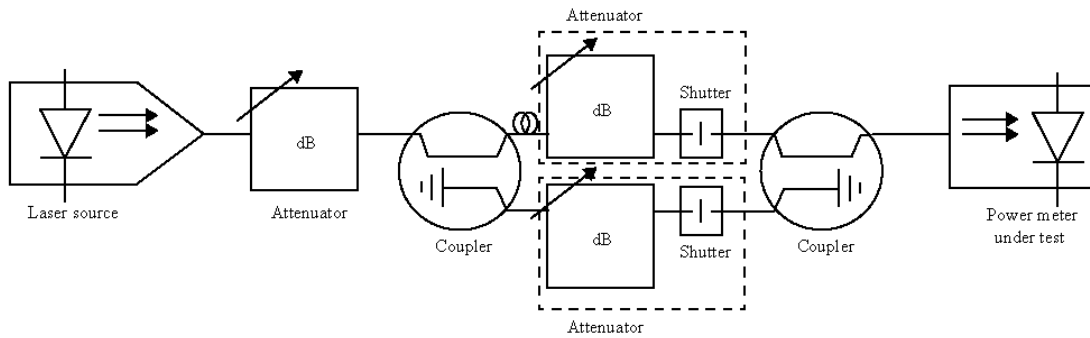
Berechnung der lokalen und globalen Linearitäten

wird der Messaufbau vor Beginn der Messung mit variablen Abschwächern in den Pfaden a und b abgeglichen, so dass die Summe der Einzelpfade mit der Gesamtleistung aus beiden Pfaden übereinstimmt. Dieser Schritt ist sehr wichtig um eine gleichmäßige Leistungsverteilung in beiden Armen zu garantieren. Daneben sollten die beiden Pfade unterschiedliche Länge besitzen um Interferenz-Schwankungen zu minimieren oder ganz auszuschließen. Den Nachteil dieser Methode stellt die relativ hohe Einfügedämpfung des Messaufbaus, der typischerweise zwischen 7 und 8 dB liegen kann, dar.



Lokale, globale Linearität und ideale Kennlinie (Quelle: Exfo)

automatisch bei Eingabe der Messwerte des Messobjektes. Gemessen wird jeweils abwärts und aufwärts bei abnehmender bzw. zunehmender Leistung und vorigem Nullabgleich der Instrumente. Um sicherzustellen, dass die optischen Splitter symmetrisch auskoppeln



Messaufbau für Linearitätsmessung der Additionsmethode (Quelle: Exfo)

Zur Vermeidung von Interferenzen des kohärenten Lichtes bei Kopplung der Pfade a und b wird in einem der beiden Pfade ein 1,5m Patchkabel zur Verlängerung des Lichtweges eingefügt (>Kohärenzlänge).

### Messunsicherheitsbudget

Die Modellgleichung für die lokale Linearität wird formuliert zu

$$L_{\text{lokal}} = P_{\text{total}} - (P_a + P_b) + \delta P_S + \delta P_V + \delta P_R$$

Für die beigeordnete **relative** erweiterte Messunsicherheit (k=2) für die Messung der lokalen Linearität ergibt sich

$$W(L_{\text{lokal}}) = 2 \cdot w = 2 \cdot \sqrt{w_S^2 + w_V^2 + w_R^2}$$

### Totale Linearität

Je nach Anzahl der Messschritte treten Messunsicherheitsanteile häufiger auf. So ist durch die Rundungskorrekturen in Abhängigkeit der Messpunkte mit einem direkt proportionalen Anteil zu rechnen ( $N \cdot w_R$ ), d.h. im 3 dB Abstand und etwa 15 Messpunkten ( $15 \cdot w_R$ ).  $w_V$  jedoch ist nur im niedrigen Messbereich  $-40$  dBm bis  $-50$  dBm relevant (etwa  $4 \cdot w_V$ ). Die Stabilität der Quelle wird in diesem Fall zu  $0,005$  dB für die gesamte Messreihe angenommen und multipliziert sich so etwa zu  $5 \cdot w_S$ . Damit ergibt sich im allgemeinen Fall:

$$W(L_{\text{total}}) = 2 \cdot \sqrt{5w_S^2 + 4w_V^2 + 15w_R^2}$$

Bei Nachweis der Linearität in einem kleineren Dynamikbereich mit weniger Messpunkten liegt die Messunsicherheit der totalen Linearität also immer unter diesem Wert.

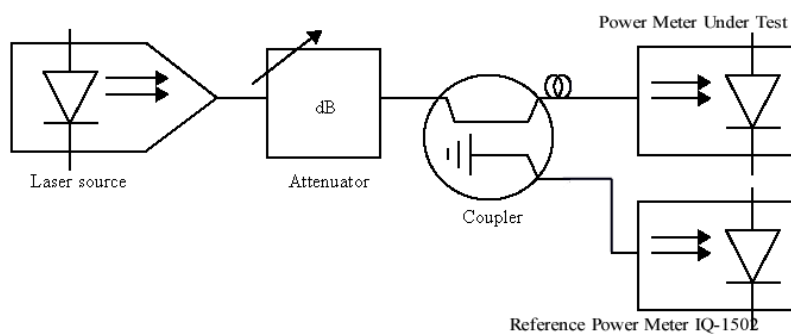
Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	5 von 10

**XVIII.3.2a Vergleichsmethode - Nichtlinearität faseroptischer Strahlungsempfänger**

Alternativ, aber mit höheren Messunsicherheiten verbunden, erfolgt eine Messung im direkten Vergleich mit dem Kalibrierpowermeter IQ-1502. Dazu wird die an einem Koppler geteilte Leistung der Laserquelle gleichzeitig am Referenzleistungsmesser und Kalibriergegenstand gemessen. Bei Annahme symmetrischer Auskopplung muss sich die Anzeige des Normleistungsmessers mit zunehmender Dämpfung im selben Maße verändern wie die des Kalibriergegenstandes. Die globale Linearität lässt sich dann sofort als Differenz der Änderungen bezogen auf den Referenzwert (k=1) angeben.

$$L_{global,k} = \Delta P_{DUT,k} - \Delta P_{Normal,k} \text{ mit } \Delta P_k = P_{ref(k=1)} - P_k$$

Die Unsymmetrie des Messaufbaus lässt sich durch eine Folgemessung mit vertauschten Kopplerausgängen und Mittelwertbildung verringern.



Messaufbau für Linearitätsmessung bei direktem Vergleich (Quelle: z.T. Exfo)

**Messunsicherheitsbudget**

Die Modellgleichung für die globale Linearität wird formuliert zu

$$L_{global} = (P_{ref,DUT} - P_{DUT}) - (P_{ref,Normal} - P_{Normal} + \delta P_L) + \delta P_S + \delta P_V + \delta P_R$$

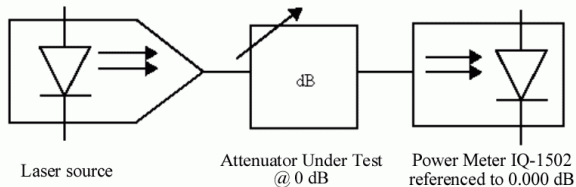
Die beigeordnete **relative** erweiterte Messunsicherheit (k=2) für die Messung der globalen bzw. der totalen Linearität (Summe einzelner lokaler Linearitätswerte) ergibt sich zu:

$$W(L_{global}) = W(L_{total}) = 2 \cdot w = 2 \cdot \sqrt{w_S^2 + w_V^2 + w_L^2 + w_R^2}$$

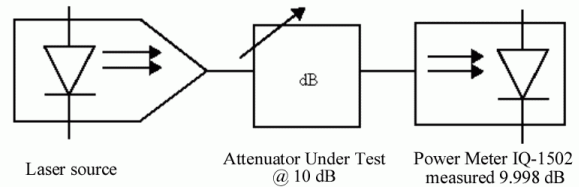
<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>geprüft/ genehmigt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>Kapitel</b> XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	<b>Seite</b> 6 von 10
---------------------------	--	--	---	--------------------------

**XVIII.3.2b Vergleichsmethode - Dämpfungsglieder, passive und aktive Geräte und Elemente**

In ähnlicher Weise können Dämpfungsglieder im Vergleich zum kalibrierten Referenzempfänger bei den verschiedenen Wellenlängen kalibriert werden. Die Messung erfolgt zum Beispiel bei konstanter (maximaler) Leistung im Pfad relativ gegenüber der 0 dB-Abschwächerstellung. Bei etwa 1 mW Absolutleistung auf dem Empfänger in Ausgangsstellung lassen sich somit Dämpfungen bis 50 dB unter Annahme idealer Empfängerlinearität kalibrieren.



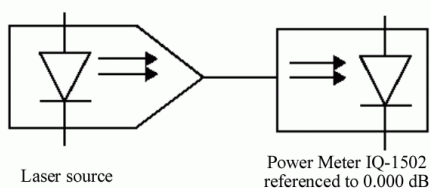
Einmessen gegenüber 0 dB am Dämpfungsglied



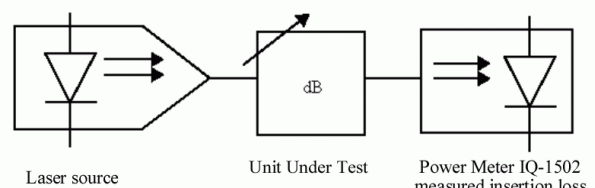
Messung einer Abschwächerstufe

Um zusätzliche Aussagen zur Wiederholbarkeit treffen zu können sollte (Anteil  $\delta P_V$ ) sollte die Messung mindestens zweimal wiederholt werden.

Um die Einfügedämpfung bzw. die Dämpfung von passiven Elementen zu bestimmen muss zunächst in direkter Kopplung am Leistungsmesser gemessen und im zweiten Schritt zusammen mit den eingefügten Komponenten gemessen werden. Auch in diesem Fall sind mehrere Messungen zu empfehlen, da Konnektorstabilitäten je nach Art der Verbindung in Größenordnungen um 0,1 dB nicht unüblich sind.



Messung der Einfügedämpfung von Dämpfungsgliedern oder Komponenten



Aufgrund des identischen Modells zur Unsicherheitsbetrachtung kann das Messunsicherheitsbudget aus XVIII.3.2a verwendet werden.

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>geprüft/genehmigt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>Kapitel</b> XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	<b>Seite</b> 7 von 10
---------------------------	--	---	---	--------------------------

## XVIII.4 Messtechnische Rückführung

Ergänzung zu Kapitel II



- 1) Optisches Kalibriersystem EXFO IQ-12002 bestehend aus:
- IQ-1502 - Calibration Power Meter
  - IQ-2102 / 2123 / 2403 Laserlichtquellen
  - IQ-1100 - Power Meter (2x)
  - IQ-3100 var. opt. Abschwächer (3x)
  - IQ-9600 Splitter (2x)
  - IQ-3300 var. Reflector
  - IQ-3200 Return Loss Meter
- 2) Wellenlängenmessgeräte Burleigh WA-7000 (2x)
- 3) LED 850nm Quelle HP 8154B
- 4) optischer Spektrumanalysator Anritsu MS9703B
- 5) Lightwave Multimeter HP 8153A mit
- HP 81533A/B (2x)
  - HP 81521B (2x)
- 6) Abstimmbare Laserquelle HP 81680A
- 7) Fiberscope 400x Glasfasermikroskop
- 8) Faserlängenartefakte NPL 2,2 km / 12,8 km (SM) und 150 m / 500 m (MM)

### EXFO IQ-1502 Calibration Power Meter



#### Bezugsnormal

Rückführung	Metas
Identifikation	SN 58086-2F KL18082
Kalibrierpunkte	1310 nm und 1550 nm
Empfänger	Ge 750 nm bis 1800 nm
Dynamik	+5 dBm bis -60 dBm
Konnektoren	universal, z.B. FC, ST, SC, SMA, HMS-10
Kalibrierunsicherheit	besser 0,42% (NIST) typ. 0,8% (NPL)
Fasertyp	9/125 µm bis 62,5/125µm
Intervall	36 Monate

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>geprüft/genehmigt</b> von: PF am: 08.01.2009	<b>Kapitel</b> XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	<b>Seite</b> 8 von 10
---------------------------	--	---	---	--------------------------

**EXFO IQ-2102 BLD (1310 nm)**



**TEC DFB Laserquelle**

Rückführung	Metas
Identifikation	SN 69521-2M KL18075
Nennwellenlänge	1310 nm
Ausgangsleistung	> -1 dBm
Stabilität	0,003 dB (15min)
spektrale Halbbreite	<. 0,2 nm
Intervall	künftig 36 Monate

**EXFO IQ-2403 BLD (1550 nm)**



**TEC DFB Laserquelle (abstimmbar)**

Rückführung	Metas
Identifikation	SN 71620-2N KL18076
Nennwellenlänge	1550 nm
Ausgangsleistung	> 3 dBm
Stabilität	0,005 dB (15min)
spektrale Halbbreite	<. 0,2 nm
Intervall	künftig 36 Monate

<b>Ausgabe:</b>	<b>erstellt</b>	<b>geprüft/ genehmigt</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Seite</b>
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	XVIII - Kalibrieren von faseroptischen Leistungsmessgeräten	10 von 10