

DIN EN 4533-002

ICS 49.060; 49.090

**Luft- und Raumfahrt –
Faseroptische Systemtechnik - Handbuch –
Teil 002: Prüfung und Messung;
Deutsche und Englische Fassung EN 4533-002:2006**

Aerospace series –
Fibre optic systems - Handbook –
Part 002: Test and measurement;
German and English version EN 4533-002:2006

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques - Manuel d'utilisation –
Partie 002: Essais et mesures;
Version allemande et anglaise EN 4533-002:2006

Gesamtumfang 62 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

Nationales Vorwort

Die Europäische Vereinigung der Hersteller von Luft- und Raumfahrtgerät (AECMA) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde AECMA Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Die vorliegende Norm EN 4533-002:2006 wurde von AECMA-STAN, Fachbereich Elektrik, unter Mitwirkung deutscher Experten des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-04-10 „LWL und LWL-Komponenten“ im Normenausschuss Luft- und Raumfahrt.

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieser EN-Norm die Englische Fassung hinzugefügt.

Deutsche Fassung

Luft- und Raumfahrt –
Faseroptische Systemtechnik –
Handbuch –
Teil 002: Prüfung und Messung

Aerospace series –
Fibre optic systems –
Handbook –
Part 002: Test and measurement

Série aérospatiale –
Systèmes des fibres optiques –
Manuel d'utilisation –
Partie 002: Essais et mesures

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 28. April 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

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



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

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

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Problembereiche und Beschränkungen.....	5
3.1 Das Problem der Prüfung von Mehrmoden-Faserinstallationen für die Luft- und Raumfahrt	5
3.2 Grenzen derzeitiger Vorhersagen der Einfügungsdämpfung und Messverfahren.....	6
3.2.1 Allgemeines.....	6
3.2.2 Kabelbaumkonstruktion.....	6
3.2.3 Messungen der Einfügungsdämpfung	6
3.2.4 Laufzeitreflektometrie	7
3.3 Der Weg voran.....	8
4 Techniken für die Systemkonstruktion	8
4.1 Allgemeines.....	8
4.2 Auswertung der Bauteil-Datenblätter	9
4.3 Computergestützte Modellentwicklung.....	10
4.4 Matrizen	11
5 Praktische Prüfverfahren	13
5.1 Allgemeines.....	13
5.2 Einkopplungsbedingungen von Prüfquellen	13
5.2.1 Aufteilungen.....	13
5.2.2 Wie werden Leistungsaufteilungen festgelegt?	13
5.2.3 Was ist die Einkopplungsbedingung einer Quelle?	14
5.2.4 Warum muss die Prüfquelle konditioniert werden?.....	15
5.2.5 Warum muss das ins Leistungsmessgerät eingeleitete Licht konditioniert werden?	15
5.2.6 Optimale Einkopplungsbedingungen.....	15
5.2.7 Wie kann die Prüfquelle konditioniert werden?	18
5.2.8 Nutzbare Leistung.....	20
5.3 Prüfkfigurationen	20
5.3.1 Vorzuziehende Verfahren.....	20
5.3.2 Gleiche Steckverbinder.....	20
5.3.3 Ungleiche Steckverbinder.....	21
5.3.4 Genauigkeiten und Auflösungen	24
5.3.5 Kalibrierung.....	25
5.4 Detektoreigenschaften	26
5.5 Prüfnetzwerke	27
5.6 Netzwerkprüfung – OTDR	27
6 Aufzeichnungsparameter.....	29
Literaturhinweise	30

Vorwort

Dieses Dokument (EN 4533-002:2006) wurde vom Verband der Europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie – Normung (AECMA-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat diese Norm die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer der AECMA erhalten, bevor sie CEN vorgelegt wurde.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2007 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können, ohne dass diese vorstehend identifiziert wurden. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

Einleitung

a) Das Handbuch

Dieses Handbuch beruht auf der Arbeit im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie, teilweise finanziert vom Britischen Ministerium für Handel und Industrie, sowie auf anderen zutreffenden Quellen. Sein Zweck ist die Bereitstellung allgemeiner Leitlinien sowohl für Fachleute als auch für Laien auf dem Gebiet der Konstruktion, Installation und Unterstützung von Mehrmoden-LWL-Systemen in Luftfahrzeugen. An gegebener Stelle wird im gesamten Text auf detailliertere Datenquellen verwiesen.

Das Handbuch ist in 4 Teile gegliedert, die sich auf grundlegende Aspekte der Lebensdauer eines optischen Kabelbaums beziehen, und zwar:

- *Teil 001: Anschlussverfahren und Werkzeuge*
- *Teil 002: Prüfung und Messung*
- *Teil 003: Verfahren zur Fertigung und Installation von Leitungsbündeln*
- *Teil 004: Reparatur, Instandhaltung und Inspektion*

b) Hintergrund

In der Luft- und Raumfahrtindustrie ist die Tatsache allgemein akzeptiert, dass Photonentechnologie mehrere wesentliche Vorteile gegenüber konventioneller elektrischer Gerätetechnik aufweist. Dazu gehören eine massive Signal-Bandbreitenkapazität, elektrische Sicherheit und die elektromagnetische Störfestigkeit (EMI) von passiven LWL-Bauteilen. Bis heute besteht darin die kritische Antriebskraft für LWL-Kommunikationssysteme in der Luft- und Raumfahrt aufgrund der zunehmenden Verwendung von nicht metallischen Luftfahrzeugen. Künftige Anforderungen für die Luft- und Raumfahrt treiben die Bandbreitenspezifikationen in einigen Fällen von zweistelligen Werten im Mbit/s-Bereich in den Multi-Gbit/s-Bereich, d. h. jenseits der Grenzen elektrischer Anschlusstechnologie. Die Eigenschaften der Photonentechnologie können in vielen Luftfahrtanwendungen potenziell vorteilhaft eingesetzt werden, sowohl z. B. bei Video-/Messfühler-Mehrfachbetrieb, Funksignalen für die Flugüberwachung, elektronischer Kriegsführung sowie Unterhaltungssystemtechnik als auch bei der Messung von vielen, an Bord eines Luftfahrzeugs auftretenden, physikalischen Phänomenen.

Das Grundmaterial optischer Verbindungen oder der „optische Kabelbaum“ ist der Schlüssel für die erfolgreiche Einführung optischer Technologie bei kommerziellen und militärischen Luftfahrzeugen. Im Vergleich zu ausgereiften Telekommunikationsanwendungen müssen Lichtwellenleitersysteme in einer feindlichen Umgebung (z. B. bei extremen Temperaturen, Feuchtigkeit, Vibrationen und Verunreinigung) betrieben werden, und sie beinhalten zusätzliche physikalische Einschränkungen durch das Luftfahrzeug (z. B. Kabelbaumhalterungen, erforderliche enge Biegeradien und Gehäuseverbindungen). Bis vor kurzem waren die optische Kabelbaumtechnologie und damit verbundene Verfahrensweisen für die Anwendung ohne große Systemreserve unzureichend entwickelt. Darüber hinaus wurden viele Aspekte der Lebensdauer in den Internationalen Normen nicht angemessen behandelt. Der Mangel an angenommenen Normen führt zu luftfahrtspezifischer Gerätetechnik und Unterstützung. Diese Faktoren beinhalteten gemeinsam einen wesentlichen Kostennachteil (Kosten für Anschaffung und Unterhalt), die die Wettbewerbsfähigkeit von optischen Kabelbäumen gegenüber äquivalenter Elektrotechnik häufig verringerten.

c) Die LWL-Kabelbaum-Studie

Die LWL-Kabelbaum-Studie konzentrierte sich auf die Erarbeitung von Techniken, Leitlinien und Normen in Zusammenhang mit der Unterstützung des Unterhalts der jetzigen Generation von LWL-Kabelbäumen für die Anwendung in zivilen und militärischen Luftfahrzeugen (mit feststehenden oder rotierenden Flügeln). Einige Aspekte der Gestaltung von optischer Systemtechnik wurden ebenfalls untersucht. Dieses Programm war

größtenteils erfolgreich. Leitlinien und Normen, die hauptsächlich auf Arbeiten im Rahmen der Kabelbaum-Studie beruhen, werden von einer Reihe von Normungsstellen herausgebracht. Wegen der in diesem Handbuch behandelten Aspekte befinden sich europäische Hauptauftragnehmer in einer sehr viel besseren Position bei der Anwendung und Unterstützung der verfügbaren Lichtwellenleitertechnologie.

1 Anwendungsbereich

Die Bestimmung der Einfügungsdämpfung ist die am häufigsten durchgeführte Messung an einer LWL-Übertragungsleitung. Der Konstrukteur des Luftfahrzeugsystems wird die Einfügungsdämpfung einer Übertragungsleitung kennen oder vorhersagen wollen, um deren Leistung zu bestimmen. Luftfahrzeughersteller werden die Einfügungsdämpfung von Kabelbaum-Bauteilen während der Montage vor der Auslieferung an den Käufer messen wollen, um Fehler hervorzuheben und um eine Aufzeichnung der Leistung des Kabelbaums zu Beginn seiner Lebensdauer bereitzustellen (Ausleuchten). Die Einfügungsdämpfung wird während der Lebensdauer des Luftfahrzeugs regelmäßig gemessen, um Fehler sowie einen schrittweisen Leistungsabbau des Kabelbaums zu entdecken oder zu identifizieren.

Es gibt jedoch ein Problem. Es ist schwierig, zuverlässige und gleichmäßige Messwerte der Einfügungsdämpfung von einem beliebigen Mehrmoden- LWL-Kabelbaum zu sammeln, wenn der Abstand zwischen den Bauteilen relativ gering ist (weniger als 100 m). Grund dafür ist, dass die Einfügungsdämpfung eines Bauteils oder Kabelbaums von der Leistungsaufteilung des Lichteingangs abhängig ist. Dies führt zu sehr großen Differenzen bei den Messwerten der Einfügungsdämpfung [1] in Abhängigkeit von der Leistungsaufteilung der bei der Messung verwendeten Quelle.

Dieser Teil von EN 4533 erörtert eingehend das Problem der Messungen sowie die Techniken, um diese zu lösen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 4533-004, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Systemtechnik — Handbuch — Teil 004: Reparatur, Instandhaltung und Inspektion*

ARP5061, *Guidelines for Testing and Support of Aerospace, Fiber Optic, Inter-Connect Systems*¹⁾

3 Problembereiche und Beschränkungen

3.1 Das Problem der Prüfung von Mehrmoden-Faserinstallationen für die Luft- und Raumfahrt

Bei der Einfügungsdämpfung eines LWL-Kabelbaums kann zwischen zwei Teilen unterschieden werden. Der erste Teil ist die intrinsische Dämpfung des Kabelbaums durch die Werkstoffeigenschaften wie die Absorption vom Quarzglas des Faserkerns. Bei Mehrmoden-Fasern würde dies die Dämpfungsschwankung des Bauteils durch Änderungen der Leistungsaufteilung einschließen. Der Begriff Leistungsaufteilung wird in Zusammenhang mit der Einfügungsdämpfung eher verwendet, um räumliche und winkelbezogene Schwankungen der Leistung über den Faserkern zu beschreiben als zeitliche Schwankungen entlang der Faser. Der zweite Teil ist die zusätzliche Dämpfung, die im Kabelbaum durch extrinsische Dämpfungen, wie fehlerhafte Ausrichtung in Steckverbindern oder Verunreinigungen, verursacht werden.

¹⁾ Veröffentlicht durch: Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

Die Einfügungsdämpfung von Bauteilen in einer LWL-Übertragungsleitung ist von der Leistungsaufteilung des übertragenen Lichtes abhängig. Bei einigen Faserkabelbaum-Typen ändert sich die Form der Leistungsaufteilung nicht, wenn Licht geleitet wird und die Einfügungsdämpfung des Bauteils ist abhängig von dessen Lage innerhalb des Kabelbaums. Die Leistungsaufteilung in Einmoden-Faser-Kabelbäumen beispielsweise ist durch die Faserparameter und die Wellenlänge der Quelle festgelegt. Mehrmoden-Faserkabelbäume für Langstrecken (einige Kilometer zwischen den Bauteilen) haben effektiv ebenfalls eine festgelegte Leistungsaufteilung, da der Abstand zwischen den Bauteilen ausreicht, um einen Gleichgewichtszustand der Leistungsaufteilung zu erreichen, der ausschließlich von den Faserparametern abhängig ist. Die Einfügungsdämpfung eines Bauteils von Mehrmoden-Kabelbäumen für Langstrecken wird durch diese Gleichgewichts-Leistungsaufteilung festgelegt.

Im Gegensatz dazu reicht der Abstand zwischen den Bauteilen in Mehrmoden-Kabelbäumen für Kurzstrecken (weniger als 200 m), wie sie in Luftfahrzeugen zu finden sind, nicht aus, um einen Gleichgewichtszustand der Leistungsaufteilung zu erreichen. Die Leistungsaufteilung am Eingang eines Bauteils innerhalb eines derartigen Kabelbaums ist nun von der ursprünglichen Leistungsaufteilung der Quelle abhängig und ändert sich zu der durch die vorgeschalteten Bauteile des Kabelbaums verursachten Aufteilung. Die zwei Folgen dieser von der Leistungsaufteilung abhängigen Einfügungsdämpfung sind:

- a) Die Einfügungsdämpfung ist von der für die Messung verwendeten Quelle abhängig.
- b) Die Einfügungsdämpfung eines bestimmten Bauteils ist von dessen Einbaulage innerhalb des Kabelbaums abhängig.

Eine Möglichkeit, die Schwankungen der gemessenen Einfügungsdämpfung zu verringern, ist der Einsatz von Modenfiltern an Quelle und Leistungsmessgerät, die die Leistungsaufteilung der Quelle in eine bekannte oder eine Standard-Aufteilung umwandeln. Werden alle Messungen mit der gleichen Leistungsaufteilung durchgeführt, wird eine sehr viel höhere Wiederholbarkeit des Einfügungsdämpfungswertes erzielt. In Abschnitt 5 sind einige dieser Standard-Aufteilungen und die verschiedenen Techniken für das Messen der Einfügungsdämpfung von Kabelbäumen und deren Bauteilen beschrieben.

3.2 Grenzen derzeitiger Vorhersagen der Einfügungsdämpfung und Messverfahren

3.2.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält einen Überblick über einige der aktuellen Gestaltungs- und Messverfahren für die Bestimmung der Einfügungsdämpfung von Mehrmoden-LWL-Kabelbäumen. (Siehe Bild 1).

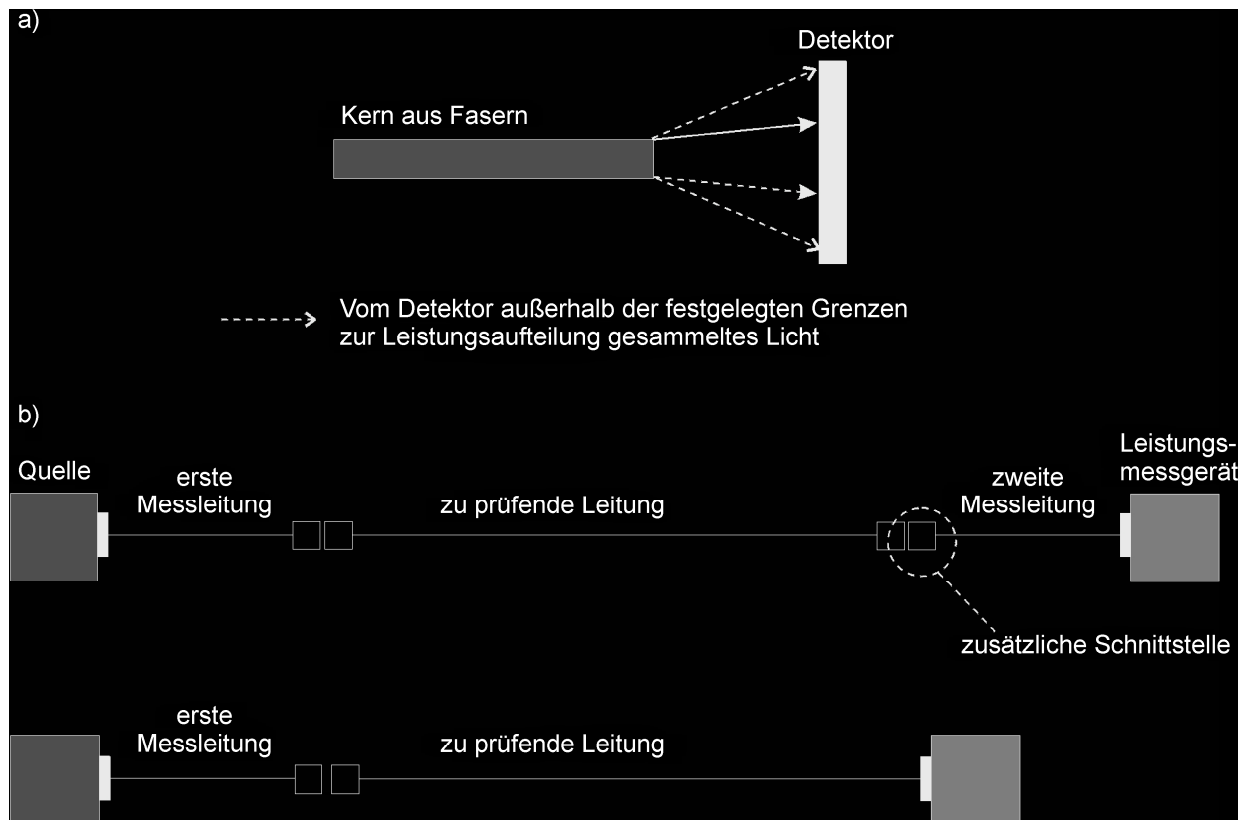
3.2.2 Kabelbaumkonstruktion

Es ist problematisch für Konstrukteure von LWL-Kabelbäumen, die Leistung des Kabelbaums genau vorauszusagen. Es ist unwahrscheinlich, dass die Werte der Einfügungsdämpfung handelsüblicher Bauteile mit einer spezifischen Leistungsaufteilung auf Grundlage der Parameter einer beliebigen Faser für Luftfahrzeuge gemessen worden sind. Der Konstrukteur wird daher gewöhnlich einen pessimistischen Schätzwert für die Einfügungsdämpfung verwenden und einen viel schlechteren Wert für die Kabelbaumleistung vorhersagen als vielleicht letztendlich erzielt wird. Dies ist möglicherweise unwichtig bei einfachen Punkt-zu-Punkt-Kommunikationsübertragungsleitungen zwischen Sender und Empfänger, die eine sehr hohe Leistungssumme haben können. Es ist jedoch von Bedeutung in komplexeren Netzwerken mit vielen Steckverbinderunterbrechungen oder in Netzwerken, die Bauteile wie passive Sternkoppler enthalten und deren Leistungssumme wahrscheinlich erheblich niedriger ist.

3.2.3 Messungen der Einfügungsdämpfung

Viele Messungen an Mehrmoden-Kabelbäumen für Kurzstrecken werden ohne Filterung des Quellenausgangs zur Änderung der Leistungsaufteilung durchgeführt. Dies ist möglicherweise unwichtig, wenn die Messungen zum Vergleich mit Messungen an genau der gleichen Quelle vorgesehen sind. Zuverlässige Messwerte für die Einfügungsdämpfung, die mit dem Prüfgerät eines anderen Herstellers wiederholbar sind, können jedoch nicht erzielt werden. Diese Messwerte sind für die Gewährleistung der Kabelbaumleistung einem Käufer gegenüber nicht anwendbar, da dieser wahrscheinlich in der Lage sein wird, die Dämpfungsmesswerte ohne das Prüfgerät des Lieferanten zu überprüfen.

Die Filterung zur Änderung der Leistungsaufteilung kann auch für eine Luftfahrtanwendung ungeeignet sein. So kann beispielsweise eine Leistungsaufteilung angewendet werden, die mehr für Telekommunikationsübertragungsleitungen geeignet ist, wodurch die Dämpfung von Kabelbaum-Bauteilen für Luftfahrtanwendungen unterschätzt wird. Darüber hinaus sollte die für die Messung verwendete Leistungsaufteilung wegen der unterschiedlichen Faserparameter für jeden verwendeten Fasertyp geändert werden.



- a) Ein großflächiger Detektor nimmt Licht von der Faser auf, das sich außerhalb der für die Quelle festgelegten Grenzen befindet.
- b) Das Entfernen einer Schnittstelle durch fehlende Verwendung einer Messleitung zwischen der zu prüfenden Leitung und dem Leistungsmessgerät.

Bild 1 — Ursachen unrepräsentativer Leistungsmesswerte

3.2.4 Laufzeitreflektometrie

Laufzeitreflektometrie (OTDR, en.: optical time domain reflectometry) ist ein Einzel-Diagnose-/Messverfahren, das auf Rückstreulicht von „Beschädigungen“ und Unregelmäßigkeiten eines Lichtwellenleitersystems beruht. Die Anwendung ist in der Telekommunikationsindustrie bei der Inbetriebnahme und Prüfung von optischen Systemen weit verbreitet. OTDR-Technologie ist eine Möglichkeit, einen Ausleuchtungsbezugswert für die Einfügungsdämpfung zu erzeugen, wobei nur ein einziger Messwert erforderlich ist, um die Eigenschaften eines gesamten zu prüfenden Kabelbaums zu bestimmen. Darüber hinaus kann der Vergleich zwischen aktuellen und früheren Protokollen automatisch durch Standard-OTDR-Software vorgenommen werden, die die Mess- und Diagnosearbeiten sehr vereinfacht. Aktuelle OTDR haben jedoch Schwierigkeiten, die spezifischen Anforderungen von optischen Kabelbäumen für Luftfahrzeuge zu erfüllen, insbesondere bezüglich der räumlichen Auflösungs-(Totbereichs-)Leistung.

3.3 Der Weg voran

Die folgenden drei Optionen ermöglichen eine zuverlässigere Art der Vorhersage und Prüfung der Leistung von Mehrmoden-LWL-Kabelbäumen:

- 1) Ein Verfahren für die Vorhersage der Leistungsaufteilung im gesamten Kabelbaum. Diese Leistungsaufteilungen können verwendet werden, um einen genauen Wert für die Einfügungsdämpfung jedes Bauteils zu ermitteln.
- 2) Eine festgelegte Leistungsaufteilung, die für die Messung der Einfügungsdämpfung aller Kabelbaum-Bauteile verwendet wird. Wird stets die gleiche Aufteilung verwendet, sollte der Wert für die Einfügungsdämpfung gleichmäßig und unabhängig vom verwendeten Prüfgerät sein.
- 3) Ein Mittel zur Messung der Leistungsaufteilung im gesamten Kabelbaum durch Abfrage des Kabelbaums an einem einzelnen Zugangspunkt (wahrscheinlich einem Steckverbinder). Dies würde durch Laufzeitreflektometrie erfolgen.

Die erste Option ist eher für den Systemkonstrukteur anwendbar und zwei Verfahren sind hier in Abschnitt 3 angegeben und eingehender erläutert. Das erste Verfahren ist ein validiertes PC-Konstruktionsprogramm, das die Vorhersage der Leistungsaufteilungswerte und die Berechnung der erwarteten Einfügungsdämpfungen der einzelnen Bauteile für jede Quelle ermöglicht (siehe 5.2). Das zweite Verfahren erfolgt unter Einsatz von Matrizen, die eher die Kabelbaum-Bauteile als den gebräuchlicheren Wert für die Einfügungsdämpfung repräsentieren. Sie repräsentieren, wie die Leistungsaufteilung durch das Bauteil verändert wird und sie können multipliziert werden, um die Gesamtdämpfung des Systems zu ermitteln (siehe 5.3).

Die zweite Option gilt für das praktische Messen der Einfügungsdämpfung. Für das Messen der Einfügungsdämpfung ist eine genau festgelegte Leistungsaufteilung erforderlich. Die Aufteilung muss für Mehrmoden-Kabelbäume für Kurzstrecken in Luftfahrzeugen geeignet sein und schwankt wahrscheinlich in Abhängigkeit von verschiedenen Fasertypen und -parametern (siehe 5.2). Die Messungen sind auch nach genau festgelegten Verfahren durchzuführen, um systematische Fehler zu minimieren (siehe 5.3).

Die dritte Option gilt ebenfalls für das praktische Messen der Einfügungsdämpfung. Der Einsatz von OTDR (im Gegensatz zu einem Leistungsmessgerät) eröffnet die Möglichkeit, die Messungen für das gesamte optische System an einer einzelnen Steckverbinderunterbrechung oder einem speziell für diesen Zweck ausgelegten Messanschluss vorzunehmen. Exakt dieselben Kriterien gelten hinsichtlich der Notwendigkeit einer genau festgelegten Leistungsaufteilung von der OTDR-Quelle, die für Mehrmoden-Kabelbäume für Kurzstrecken in Luftfahrzeugen repräsentativ ist. Trotz ihrer Attraktivität ist diese Lösung durch die Leistung derzeitiger OTDR-Geräte begrenzt (siehe 5.6).

4 Techniken für die Systemkonstruktion

4.1 Allgemeines

Die Einleitung enthält einen Überblick über die Problematik, gleichmäßige Messungen der Bauteil- und Systemdämpfung in für Luftfahrzeuginstallationen typischen Mehrmoden-LWL-Kabelbäumen für Kurzstrecken vorzunehmen. Ein Systemkonstrukteur muss in der Lage sein, die optische Leistungsaufteilung an jedem beliebigen Punkt des Kabelbaums vorherzusagen, bevor er die Dämpfung der einzelnen Bauteile und des gesamten Systems genau vorhersagen kann. Alternativ dazu kann der Konstrukteur die ungünstigsten Dämpfungswerte für alle Kabelbaum-Bauteile verwenden und diese addieren. Dies ergibt jedoch einen pessimistischen Schätzwert für die Kabelbaumübertragung, wodurch unnötige Beschränkungen für die Kabelbaumkonstruktion entstehen könnten. Dadurch kann beispielsweise die Anzahl der in den Kabelbaum aufnehmbaren Steckverbinder begrenzt und somit die Wartungsfähigkeit des Kabelbaums verringert werden. Im Folgenden sind die Probleme bei der Verwendung der Werte für die Einfügungsdämpfung von Bauteil-Datenblättern beschrieben sowie zwei dem Konstrukteur zur Verfügung stehende Verfahren, die eine genauere Vorhersage der Bauteil- und Systemdämpfung unterstützen.

4.2 Auswertung der Bauteil-Datenblätter

Während der Konstruktionsphase des Systems muss der für das physikalische Verbinden verantwortliche Konstrukteur oder Ingenieur ableiten, wie eine optimale physikalische Durchführung bei Einhaltung der Leistungssumme des Systems erreicht werden kann. Viele Entscheidungen sind bei der Auswahl der optimalen physikalischen Durchführung zu berücksichtigen, wie z. B.:

- a) Wie viele Verbindungen sollten vorhanden und wie sollten sie angeordnet sein, um Wartung und Reparatur bei maximaler Zuverlässigkeit zu erleichtern?
- b) Welcher Bauteiltyp wird verwendet, wenn es sich nicht um ein Punkt-zu-Punkt-System handelt, um die erforderliche Anschließbarkeit zu erzielen?
- c) Sind systemspezifische Bauteile wie Kabel und Steckverbinder bereits zugelassen?

Bei der Auswahl von Bauteilen, die die Systemanforderungen erfüllen, müssten dem Konstrukteur idealerweise alle maßgebenden Leistungsdaten der Bauteile zur Verfügung stehen, die seine Anforderungen erfüllen könnten. Der Konstrukteur kann dann eine fundierte Entscheidung darüber treffen, welche Bauteile seine Anforderungen am besten erfüllen. Die Bestimmung der Wededämpfung sollte einfach durchzuführen sein, indem die Werte für die Einfügungsdämpfung den Datenblättern von Bauteilen entnommen werden, die zwischen Quelle und Empfänger liegen, und diese Werte addiert werden, um die Gesamt-Wegedämpfung zu ermitteln. Diese Werte können derzeit jedoch nicht auf diese Weise behandelt werden, da – wie bereits in Abschnitt 3 erläutert – die Einfügungsdämpfung von Kurzstrecken-Systemen kritisch abhängig ist von der Leistungsaufteilung des eingekoppelten Lichtes.

Das Prüfverfahren kann für eine andere Anwendung gelten, z. B. Langstrecken-Telekommunikationssysteme, allerdings ist es für Kurzstrecken-Luftfahrzeuginstallationen eher nicht geeignet. Bei vielen der Prüfverfahren auf deren Grundlage Bauteile zugelassen werden, wird eine Einkopplungsbedingung angewendet, bei der die Faser nicht im gleichen Maß angeregt wird, wie aufgrund der Ergebnisse der Kabelbaum-Studie empfohlen²⁾. Die nicht vollständig angeregte Einkopplung führt zu einem optimistischen Schätzwert für die Einfügungsdämpfung.

Idealerweise würden Bauteilhersteller eine Bauteildämpfung nicht spezifizieren, sondern festlegen, wie die Einkopplung am Eingang durch das Bauteil vor dem Einkoppeln in das nächste Bauteil durch die Bauteilmatrix verändert wird. Dieses Matrizenverfahren ist in 5.4 beschrieben. Bei dieser Verfahrensweise kann eine repräsentative Dämpfung des Bauteils erzielt werden, die für alle Einkopplungsbedingungen genau ist. Das Problem dieses Verfahrens besteht darin, dass es derzeit kein international anerkanntes praktisches Prüfverfahren gibt, nach dem Bauteilhersteller die Matrixelemente bestimmen können.

Eine für den Bauteilhersteller praktischere Verfahrensweise ist die Festlegung eines optischen Leitungswertes auf der Grundlage einer Prüfung, der für Kurzstrecken-Anwendungen repräsentativ ist. Diese Prüfbedingungen wurden unter Anwendung des im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie entwickelten Strahlenverfolgungsmodells festgelegt und können verschiedene Prüfquellen für die speziellen verwendeten Fasertypen erfordern.

Sind Aufbau und typische Grenzabweichungen eines Bauteils bekannt, sollte es möglich sein, das im nächsten Abschnitt beschriebene Strahlenverfolgungsmodell anzuwenden, um die mit den Einkopplungsbedingungen des Herstellers ermittelte Einfügungsdämpfung in die Dämpfung bei Standard-Einkopplungsbedingungen in Luftfahrzeugen umzurechnen.

2) Bei Gradienten(profil)fasern wurde die beste Korrelation zwischen den beiden Schätzwerten für die Einfügungsdämpfung für eine festgelegte nutzbare Leistung von 95 % des Kerndurchmessers und 95 % des maximalen Akzeptanzwinkels ermittelt. Bei Stufenprofilfasern wurden als beste nutzbare Leistung Werte von 100 % des Kerndurchmessers und 95 % des maximalen Akzeptanzwinkels ermittelt.

4.3 Computergestützte Modellentwicklung

Ein Computer kann verwendet werden, um die Art und Weise vorherzusagen, in der sich die optische Leistungsaufteilung in einem optischen System beim Durchgang durch die Bauteile ändert. Es sind viele optische Konstruktionsprogramme auf dem Markt, die grob in zwei Typen unterteilt werden können. Der erste Typ sind Linsen-Konstruktionsprogramme, die Strahlenverfolgung einsetzen, um die Leistungsaufteilung in Linsensystemen wie beispielsweise in photographischer Ausrüstung vorherzusagen. Der zweite Typ sind Wellenleiter-Konstruktionsprogramme, bei denen die elektrische Feldstärke des Lichtes berechnet wird, um die Leistungsaufteilung in eingebauten optischen Bauteilen zu ermitteln. Strahlenverfolgung ist ein zulässiges Verfahren, wenn anzunehmen ist, dass die Bauteilaperturen im Vergleich zur Wellenlänge des durchgeleiteten Lichtes groß sind. Die Kerndurchmesser von Mehrmoden-Fasern erfüllen gewöhnlich dieses Kriterium und daher ist der Einsatz des Strahlenverfolgungsverfahrens für die Vorhersage der Leistungsaufteilung in Mehrmoden-Kabelbäumen zulässig.

Im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie wurde ein Konstruktionspaket für Mehrmoden-LWL-Systeme erarbeitet, bei dem Strahlenverfolgung für die Vorhersage der Leistungsaufteilung eingesetzt wird. Dieses Modell wurde aufgrund von experimentellen Daten zugelassen. Bild 2 zeigt eine Bildschirmsicht des Modells, in der die verschiedenen Bauteile dargestellt sind, die miteinander zu einem vollständigen Kabelbaum verbunden werden können. Dieses Modell ermöglicht die Vorhersage der Leistungsaufteilung an einem beliebigen Punkt des Kabelbaums und die Berechnung der Dämpfung einzelner Bauteile. Neben anderen Funktionen können typische Bauteilfehler verursacht werden sowie Darstellungen von Verunreinigungen. Darüber hinaus können damit die im nächsten Abschnitt beschriebenen Bauteilmatrizen berechnet werden.

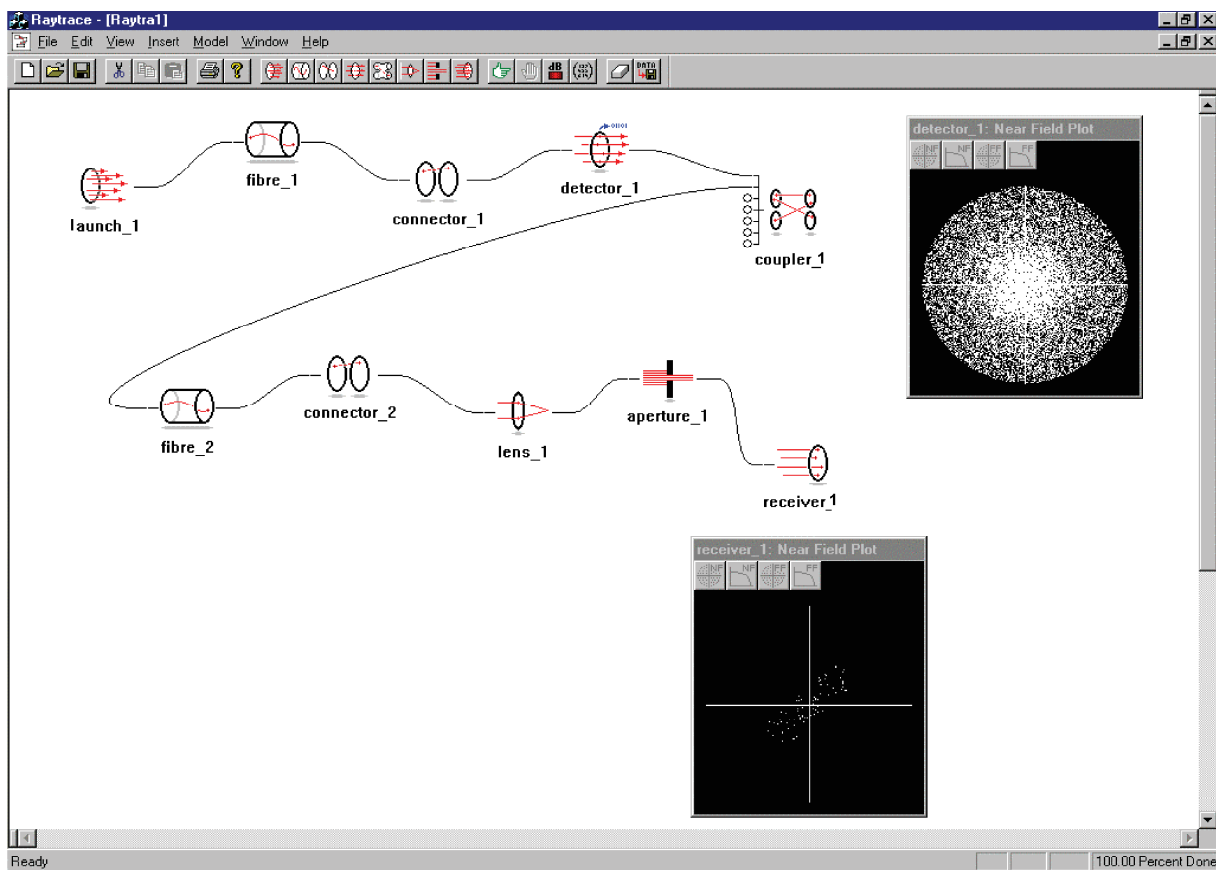
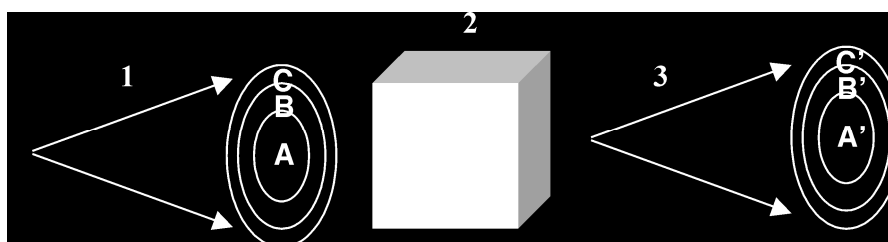


Bild 2 — Benutzeroberfläche des Strahlenverfolgungsmodells mit Darstellung der verschiedenen Bauteile, die einbezogen werden können

4.4 Matrizen

In einem Fasersystem mit unveränderlicher Leistungsaufteilung ist es möglich, die Bauteildämpfung durch einen einzelnen Wert darzustellen – die Einfügungsdämpfung. Wie in Abschnitt 3 erörtert, gilt dies für Einfachmoden-Fasersysteme und Mehrmoden-Kabelbäume mit großem Abstand zwischen den Bauteilen, z. B. Telekommunikations-Übertragungsleitungen. In kürzeren Übertragungsleitungen sagt der einzelne Wert für die Einfügungsdämpfung nichts darüber aus, wie die Bauteildämpfung durch die Leistungsaufteilung beeinflusst wird oder wie das Bauteil selbst die Leistungsaufteilung verändert. Die Darstellung der Bauteile als Matrizen kann diese Probleme lösen. [2][3][4]



Legende

- 1 Eingangslicht/Lichteingang
- 2 Bauteil
- 3 Ausgangslicht/Lichtausgang

Bild 3 — Matrizendarstellung eines LWL-Bauteils

Die Matrizen werden erstellt, indem einige Parameter der Lichtaufteilung in verschiedene Bereiche aufgeteilt werden und die Dämpfung des Lichtes sowie die Bewegung zwischen den Bereichen beim Durchführen durch ein Kabelbaum-Bauteil aufgezeichnet werden. Der verwendete Parameter ist von dem im Kabelbaum eingesetzten Fasertyp abhängig. Ein geeigneter Parameter für ein Bauteil in einem Stufenprofilfaser-Kabelbaum ist beispielsweise der Winkel des Lichtes. In Bild 3 ist die Unterteilung der Winkelleistung in drei Bereiche vor und nach einem derartigen Bauteil dargestellt. Eine Spalte mit drei Zahlen kann die Leistung in den Eingangs- und in den Ausgangsbereichen repräsentieren. Die Leistung in den drei Ausgangsbereichen A' , B' und C' kann durch Multiplizieren der Leistung in den drei Eingangsbereichen A , B und C mit der Bauteilmatrix berechnet werden.

$$\begin{pmatrix} A' \\ B' \\ C' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} m_{11}A + m_{12}B + m_{13}C \\ m_{21}A + m_{22}B + m_{23}C \\ m_{31}A + m_{32}B + m_{33}C \end{pmatrix}$$

$$A' = m_{11}A + m_{12}B + m_{13}C$$

$$B' = m_{21}A + m_{22}B + m_{23}C$$

$$C' = m_{31}A + m_{32}B + m_{33}C$$

Die Diagonalelemente der Matrix, m_{11} , m_{22} und m_{33} , beschreiben die Leistungsdämpfung in allen drei Bereichen. Die nicht diagonalen Elemente stellen die Leistungskopplung zwischen den Bereichen dar.

In einem komplexen Kabelbaum mit einer Anzahl von Bauteilen kann durch Multiplizieren aller einzelnen Bauteilmatrizen eine Systemmatrix erstellt werden. Matrizenmultiplikation unterscheidet sich von gewöhnlicher Multiplikation. Müsstest zwei 3×3 -Matrizen, M und N , miteinander multipliziert werden, die folgende Elemente enthalten:

bei

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \text{ und } N = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{pmatrix}$$

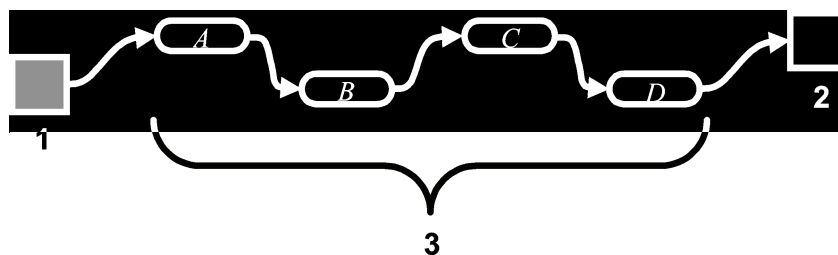
wäre die resultierende Matrix, R :

$$R = M \cdot N = \begin{pmatrix} m_{11}n_{11} + m_{12}n_{21} + m_{13}n_{31} & m_{11}n_{12} + m_{12}n_{22} + m_{13}n_{32} & m_{11}n_{13} + m_{12}n_{23} + m_{13}n_{33} \\ m_{21}n_{11} + m_{22}n_{21} + m_{23}n_{31} & m_{21}n_{12} + m_{22}n_{22} + m_{23}n_{32} & m_{21}n_{13} + m_{22}n_{23} + m_{23}n_{33} \\ m_{31}n_{11} + m_{32}n_{21} + m_{33}n_{31} & m_{31}n_{12} + m_{32}n_{22} + m_{33}n_{32} & m_{31}n_{13} + m_{32}n_{23} + m_{33}n_{33} \end{pmatrix}$$

Entscheidend ist die Reihenfolge, in der die Bestandteile miteinander multipliziert werden. Besteht ein System aus Bauteilen mit Matrizen A , B , C und D , die in dieser Reihenfolge von der Quelle bis zum Empfänger auftreten, ist die Matrix des gesamten Systems, R , ein Mehrfaches der Matrizen in umgekehrter Reihenfolge:

$$R = D \cdot C \cdot B \cdot A$$

Dies ist in Bild 4 genauer dargestellt.



Legende

- 1 Quelle
- 2 Empfänger
- 3 Systemmatrix $R = D \cdot C \cdot B \cdot A$

Bild 4 — Reihenfolge der Multiplikation der Bauteilmatrizen zur Bestimmung der Systemmatrix

Auf diese Weise kann der Systemkonstrukteur diese Matrizen verwenden, um eine einzelne Matrix zu erstellen, die beschreibt, wie das System das durchgehende Licht ändert und dämpft. Durch Multiplizieren dieser Matrix mit dem Spaltenvektor, der die Eingangsleistungsaufteilung repräsentiert, kann der Konstrukteur die Einfügungsdämpfung eines Systems und die Ausgangsleistungsaufteilung vorhersagen.

Die Anzahl der Elemente in dieser Matrix ist eher willkürlich. Je größer die Anzahl, desto höher die Genauigkeit der Darstellung der Leistungsaufteilung. In der Vergangenheit wurden 2×2 -Matrizen (4 Elemente) verwendet, aber die Genauigkeit war nicht sehr hoch [5]. Eine bessere Leistung wurde mit 3×3 -Matrizen [6] erzielt. Das Strahlenverfolgungsmodell kann Matrizen mit bis zu 25 Elementen erzeugen (5×5 -Matrizen).

Das Strahlenverfolgungsmodell kann Matrizen erzeugen, indem die Schwankungen der Strahlenparameter beim Durchführen durch die Kabelbaum-Bauteile verfolgt werden. Es ist jedoch sehr viel schwieriger, die Matrizen aus praktischen Messungen der Leistungsaufteilung zu erstellen. Dies gilt insbesondere für Kabelbaum-Bauteile mit Gradienten(profil)faser, da die für die Erstellung der Matrix verwendeten Parameter in keinem direkten Zusammenhang mit entweder der räumlichen (Nahfeld-) oder der winkelbezogenen (Fernfeld-) Leistungsaufteilungen stehen [7]. Matrizen für Gradienten(profil)faser-Kabelbäume wurden erfolgreich aus den Nahfeld-Leistungsaufteilungen erstellt [8]. Verglichen mit Gradienten(profil)faser-Bauteilen sind Matrizen für Bauteile eines Stufenprofilfaser-Kabelbaums relativ einfach aus der Fernfeld-Leistungsaufteilung zu erstellen. Das Verfahren ist in Bild 3 dargestellt. Bei einem optischen System erfolgt die Einkopplung von

Licht in das Bauteil mit Winkeln im Bereich A . Ein Leistungsmessgerät bestimmt die Leistung innerhalb der Ausgangsbereiche A' , B' und C' . Die Werte der Matrizenelemente, m_{11} , m_{22} und m_{33} , sind:

$$m_{11} = \frac{\text{Leistung in } A'}{\text{Leistung in } A}$$

$$m_{12} = \frac{\text{Leistung in } B'}{\text{Leistung in } A}$$

$$m_{13} = \frac{\text{Leistung in } C'}{\text{Leistung in } A}$$

Die anderen Matrizenelemente werden durch Einkopplung von Licht in die Bereiche B und C sowie Messen der Leistung in den drei Ausgangsbereichen ermittelt. Die Matrizenelemente sind:

$$m_{21} = \frac{\text{Leistung in } A'}{\text{Leistung in } B}$$

$$m_{22} = \frac{\text{Leistung in } B'}{\text{Leistung in } B}$$

$$m_{23} = \frac{\text{Leistung in } C'}{\text{Leistung in } B}$$

$$m_{31} = \frac{\text{Leistung in } A'}{\text{Leistung in } C}$$

$$m_{32} = \frac{\text{Leistung in } B'}{\text{Leistung in } C}$$

$$m_{33} = \frac{\text{Leistung in } C'}{\text{Leistung in } C}$$

5 Praktische Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt die Durchführung von wiederholbaren und zuverlässigen Messungen der Einfügungsdämpfung eines LWL-Kabelbaums. Als Quelle wird eher eine lichtemittierende Diode (LED) als eine Laserdiode angenommen. Die Strahlung von Laserdioden ist kohärent und die Leistungsaufteilung schließt Interferenzmuster oder „Flecken“ ein, wodurch die Leistungsmesswerte zeitbezogen schwanken können und die Zuverlässigkeit der Messungen verringert wird. Unterabschnitt 5.2 beschreibt die für zuverlässige Messungen erforderlichen Änderungen an der Leistungsaufteilung der Prüfquelle. Unterabschnitt 5.3 beschreibt die verfügbaren Messverfahren und die damit verbundenen Fehler. Unterabschnitt 5.4 behandelt den Einfluss des Detektors im Leistungsmessgerät auf die Messung der Einfügungsdämpfung. Unterabschnitt 5.5 enthält einen Überblick über einige Probleme, die bei der Durchführung der Messungen an optischen Netzwerken auftreten können. Unterabschnitt 5.6 beschreibt den Einsatz von OTDR bei der Durchführung von Messungen an einem Netzwerk.

5.2 Einkopplungsbedingungen von Prüfquellen

5.2.1 Aufteilungen

Unterabschnitt 5.4 zufolge sind festgelegte Leistungsaufteilungen erforderlich, um zuverlässige Messungen der Einfügungsdämpfung von Mehrmoden-LWL-Bauteilen vorzunehmen. In den folgenden Abschnitten ist eingehender beschrieben, wie diese Leistungsaufteilungen für Prüfquellen festgelegt werden und wie sie zu erzeugen sind. Als Quelle kann jedes Bauteil dienen, das Licht in das zu prüfende Bauteil einkoppeln kann und Licht von einem Teil des Prüfgerätes, einer LED oder einer Messleitung einschließt.

5.2.2 Wie werden Leistungsaufteilungen festgelegt?

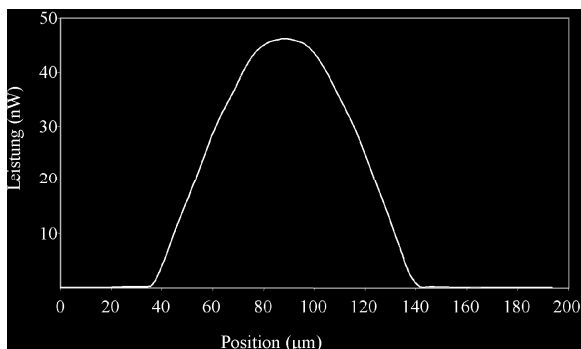
Im Allgemeinen wird die Leistungsaufteilung einer Quelle durch zwei verschiedene Aufteilungen festgelegt: die Leistungsschwankung über der Quellenapertur und die Leistungsschwankung mit dem Winkel des Lichtes aus der Quelle. Diese beiden Aufteilungen werden als Nahfeld- bzw. Fernfeld-Leistungsaufteilungen bezeichnet. Typische Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen für Stufenprofilfasern und Gradienten(profil)fasern sind in Bild 5 dargestellt. Diese Leistungsaufteilungen wurden von einem entsprechend der LWL-Kabelbaum-Studie entwickelten Gerät aufgezeichnet. Darüber hinaus sind handelsübliche Geräte für das Aufzeichnen von Nahfeld- bzw. Fernfeld-Leistungsaufteilungen erhältlich [9]. Das Messen der Nahfeld- bzw. Fernfeld-Leis-

tungsaufteilungen einiger Quellen, wie z. B. LED, kann problematisch sein, da die Verpackung einen Teil des emittierten Lichtes dämpfen kann. Die Aufteilungen sind erst messbar, wenn das Licht durch einen kurzen Lichtwellenleiterabschnitt geleitet wurde.

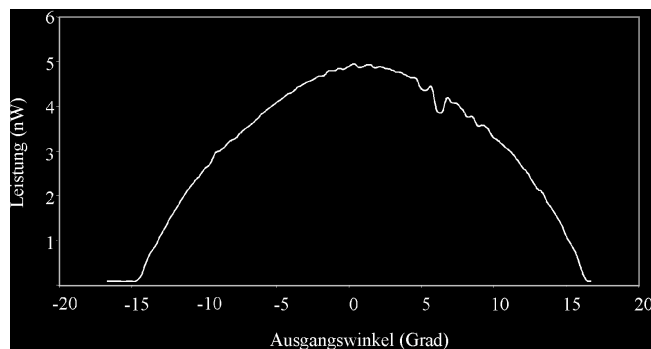
5.2.3 Was ist die Einkopplungsbedingung einer Quelle?

Die Einkopplungsbedingung einer Quelle ist der Vergleich zwischen ihrer Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilung und den Parametern der im Kabelbaum eingesetzten Fasern. Die Nahfeld-Aufteilung wird mit dem Faserkernradius (oder -durchmesser) und die Fernfeld-Aufteilung mit der numerischen Apertur (NA) der Faser verglichen.

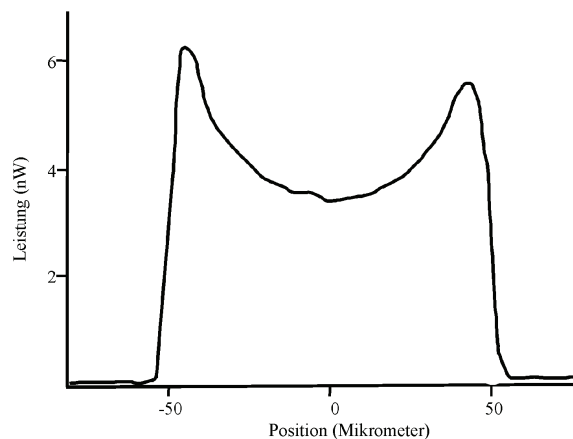
Ein zusätzlicher die Einkopplungsbedingung beeinflussender Parameter ist, ob der Faserkern ein Stufenprofil oder Gradientenprofil aufweist. Dies ist sehr wichtig, da die Form der Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen hochgradig abhängig vom Profil ist, wie in Bild 5 dargestellt. a) und b) sind die Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen einer durch eine LED-Quelle beleuchteten Gradienten(profil)faser. Die LED-Quelle bietet beinahe eine Einkopplungsbedingung mit Vollanregung. c) und d) sind die Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen einer durch eine Quelle mit weißem Licht beleuchteten Stufenprofilfaser. Die LED-Quelle bietet eine Einkopplungsbedingung mit Vollanregung.



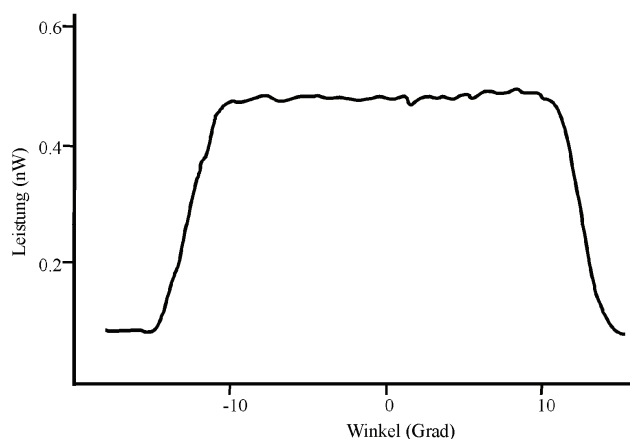
a) Gradienten(profil)faser mit 0,26 NA und LED-Quelle im Nahfeld



b) Gradienten(profil)faser mit 0,26 NA und LED-Quelle im Fernfeld



c) Stufenprofilfasern mit 0,2 NA und weißer Lichtquelle im Nahfeld



d) Stufenprofilfasern mit 0,2 NA und weißer Lichtquelle im Fernfeld

Bild 5

Die Einkopplungsbedingung wird als Prozentsatz des Kernradius und der numerischen Apertur der Faser im Kabelbaum ausgedrückt. Angenommen z. B., ein Kabelbaum setzt eine Faser mit einem Kernradius von 50 µm und einer numerischen Apertur von 0,29. Entspricht das Nahfeldprofil der Quelle einer Faser mit einem Radius von 40 µm und das Fernfeld einer numerischen Apertur von 0,25, beträgt die Einkopplungsbedingung der Faser 80:86 (80% Anregung des Kernradius und 86 % Anregung der numerischen Apertur). Eine

Einkopplungsbedingung der Quelle von 100:100 wird als vollständig angeregte Einkopplung bezeichnet. Beträgt einer der Prozentsätze mehr als 100, wird dies als Einkopplung mit Überanregung entweder in der Nahfeld- oder Fernfeld-Leistungsaufteilung bezeichnet. Beträgt einer der Prozentsätze weniger als 100, wird dies als Einkopplung mit zu schwacher Anregung in der entsprechenden Leistungsaufteilung bezeichnet.

Ein bedeutender Aspekt der Einkopplungsbedingung, der durch die Faserparameter bestimmt wird, besteht darin, dass sich die Einkopplungsbedingung einer Quelle in Abhängigkeit von Typ und Parametern der Kabelbaumfaser ändert. Daher sind zwei verschiedene Quellen erforderlich, um in zwei Fasern mit unterschiedlichen Parametern identische Einkopplungsbedingungen zu erzeugen.

5.2.4 Warum muss die Prüfquelle konditioniert werden?

Wie in der Einleitung erläutert, ist die Durchführung von Messungen der Einfügungsdämpfung an Mehrmoden-LWL-Kabelbäumen problematisch. Sie wird erschwert durch die Tatsache, dass die Dämpfung von der Leistungsaufteilung der für die Messung verwendeten Quelle abhängig ist. Durch Verwendung verschiedener Prüfquellen ist möglich, eine sehr große Spanne von Dämpfungswerten für ein System zu erzielen. Eine Quelle, die beispielsweise einen Großteil ihrer Leistung in einen sehr kleinen Winkel im Bauteilinneren einleitet, hat im Vergleich mit einer Quelle, die ihre Leistung in einen größeren Winkelbereich einleitet, einen viel niedrigeren Dämpfungswert. Grund dafür ist, dass Licht bei den größeren Winkeln eher durch Unregelmäßigkeiten in der Bauteilkonstruktion gedämpft wird als Licht bei kleineren Winkeln.

Eine bestimmte Leistungsaufteilung muss gewählt werden, um Messungen der Einfügungsdämpfung mit höherer Wiederholbarkeit durchführen zu können. Diese Aufteilung würde irgendwo zwischen einer Einkopplungsbedingung mit Vollanregung, die einen übermäßig pessimistischen Wert für die Einfügungsdämpfung ergeben würde, und einer viel zu schwach angeregten Einkopplungsbedingung, die einen optimistischen Wert ergibt, liegen. Im Allgemeinen regt die optimale Einkopplungsbedingung sowohl den Kern der Faser als auch deren numerische Apertur geringfügig zu schwach an. Dies entfernt den Teil der Lichtaufteilung der Quelle, die am ehesten durch Herstellungsfehler der Kabelbaum-Bauteile gedämpft wird.

5.2.5 Warum muss das ins Leistungsmessgerät eingeleitete Licht konditioniert werden?

Bei fehlender Konditionierung des auf den Detektor des Leistungsmessgerätes fallenden Lichtes ist die gemessene Leistung von der Größe des Detektors abhängig. Um gleichmäßige Messwerte für die Leistung zu erzielen, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

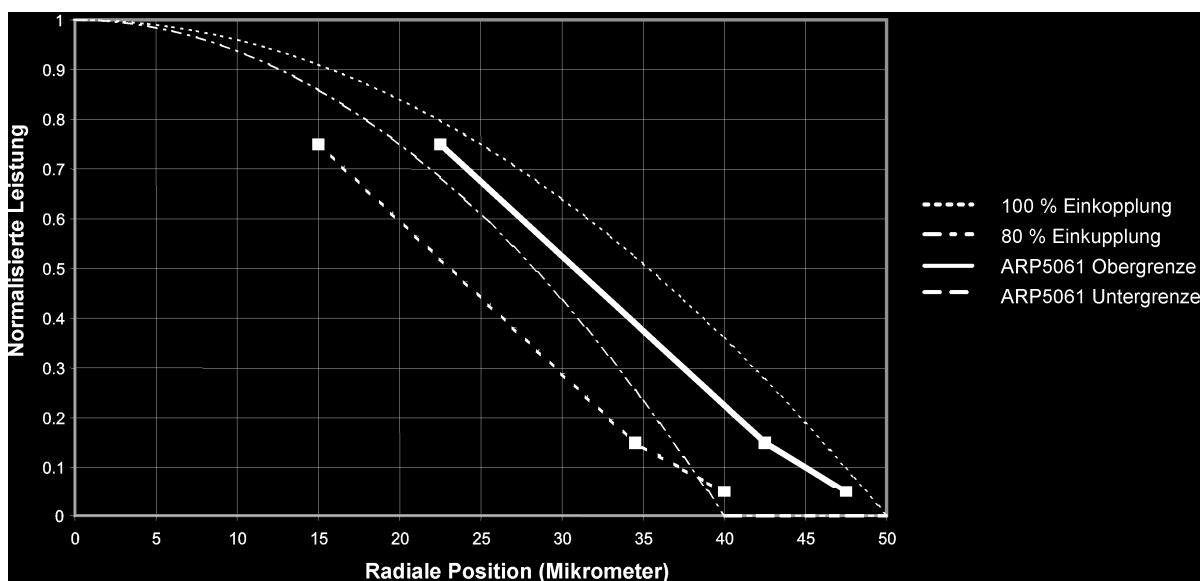
- 1) Das auf den Detektor des Leistungsmessgerätes fallende Licht muss so konditioniert werden, dass nur Licht innerhalb der festgelegten Standard-Leistungsaufteilung auftrifft.
- 2) Die Maße des Detektors müssen größer als die Fläche des auftreffenden Lichtes sein (siehe 5.3).

5.2.6 Optimale Einkopplungsbedingungen

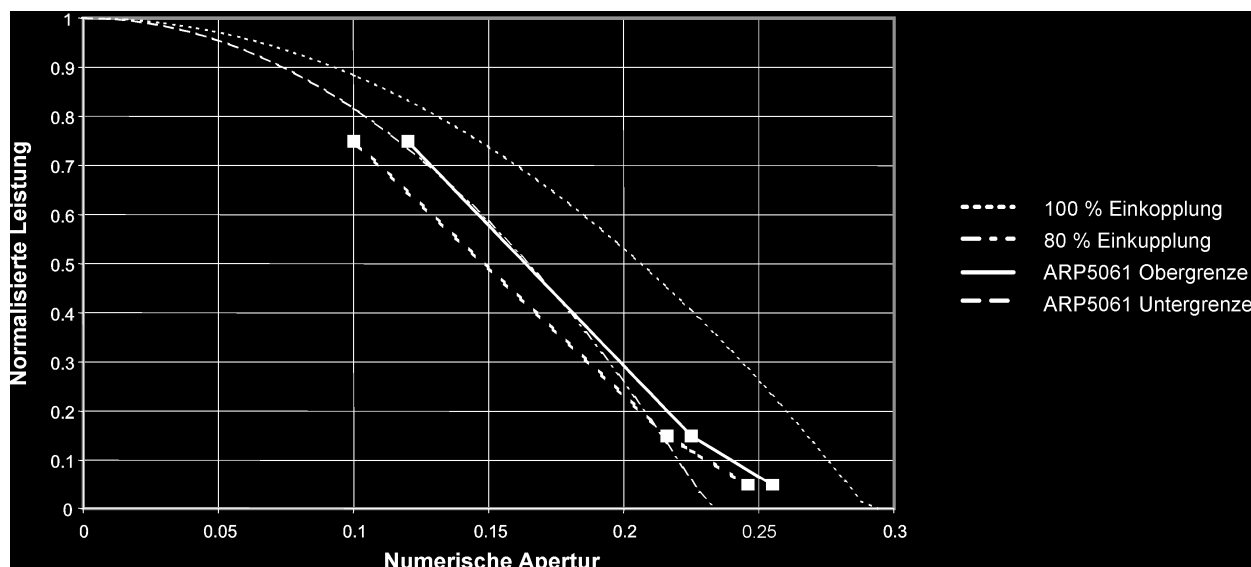
Eine Lösung für dieses Messproblem ist die Vereinbarung zwischen allen Parteien, stets eine Standard-Leistungsaufteilung zu verwenden. Doch welche Aufteilung ist korrekt? Die Lösung ist die Aufteilung, die das zu prüfende Kabelbaumsystem am besten charakterisiert. Telekommunikationskabelbäume haben beispielsweise lange Faserabschnitte zwischen den Bauteilen und über diese Entfernung ist es möglich, dass die Licht-Leistungsaufteilung einen Gleichgewichtszustand erreicht. Dies bedeutet, dass die Leistungsaufteilung nicht länger ihre Form ändert, während sie durch die Faser geführt wird, sondern sich lediglich die Leistung verringert. Bei Telekommunikationsfasern ist dieser Gleichgewichtszustand der Leistungsaufteilung die korrekte zu verwendende Leistungsaufteilung. Leider ist das Festlegen der Leistungsaufteilung bei Kurzstrecken-Kabelbäumen für Luftfahrzeuge schwieriger.

In Kabelbäumen für Luftfahrzeuge verursacht eine Aufteilung, die den Faserkern und die numerische Apertur vollständig anregt, eine Dämpfung von Licht, das nah an der Faserkernbegrenzung und dem maximalen von der numerischen Apertur der Faser zugelassenen Winkel eingekoppelt wurde. Die sich daraus ergebende Aufteilung verursacht eine geringfügig zu schwache Anregung der Faser und ist die Aufteilung, die für die Messungen der Einfügungsdämpfung verwendet werden sollte. Die gleiche Aufteilung wird letztlich durch eine viel zu schwach angeregte Einkopplung in einen Kabelbaum mit einer großen Anzahl an Bauteilen verursacht, da durch die Herstellungsfehler in den Bauteilen Licht in höhere Winkel und Faserkernlagen gestreut wird. Dies wurde in den Vereinigten Staaten als praktisches Verfahren für die Bestimmung der optimalen Aufteilung

von Kabelbäumen für Luftfahrzeuge entwickelt [10]. Ein Prüfkabelbaum mit typischen Bauteilen wird konstruiert und die optimale Aufteilung wird durch Messungen der Leistungsaufteilung am Ausgang bei gleichzeitiger Änderung der Leistungsaufteilung am Eingang ermittelt. Dies hat zu Grenzen der Einkopplungsbedingungen von Spectran-„Flightguide“ [11] geführt. Die Grenzen für diese Faser wurden auf drei Prozentwerte innerhalb der normalisierten Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen festgelegt (75 %, 15 % und 5 %). Diese Grenzen sind in Bild 6 dargestellt, gemeinsam mit der Kurve „idealer“ Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen für eine Faser mit „Flightguide“-Parametern. Die „idealen“ Aufteilungen fallen mit quadratischer Abhängigkeit vom Höchstwert der Intensität auf den Wert des Kernradius oder der numerischen Apertur. Prüfgeräte mit diesen Einkopplungsbedingungen sind als Standardgeräte [12] erhältlich. Ähnliche Grenzen wurden auch für Fasern mit einem Kerndurchmesser von 62,5 µm aufgestellt [11]. Ober- und Untergrenzen der Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen entsprechen den Festlegungen der Norm ARP5061. Die Grenzen werden mit Kurven verglichen, die die idealen Einkopplungsbedingungen von 100 % und 80 % für eine Faser mit einem Kerndurchmesser von 100 µm und einem NA von 0,29 repräsentieren.



a) Ober- und Untergrenzen der Nahfeld-Leistungsaufteilung für eine Gradienten(profil)faser für Luftfahrzeuge nach ARP5061 mit einem Kerndurchmesser von 100 µm und einer NA von 0,29



b) Ober- und Untergrenzen der Fernfeld-Leistungsaufteilung für eine Gradienten(profil)faser für Luftfahrzeuge nach ARP5061 mit einem Kerndurchmesser von 100 µm und einer NA von 0,29

Bild 6

Eine weitere Folge der Verwendung der richtigen Einkopplungsbedingung für die Messung der Einfügungsdämpfung ist die Minimierung der Differenz zwischen der Dämpfung eines vollständigen Kabelbaums und der Dämpfungssumme der einzelnen Kabelbaum-Bauteile. Im Rahmen der LWL-Kabelbaum-Studie wurden die optimalen Einkopplungsbedingungen sowohl für Gradienten(profil)fasern als auch für Stufenprofilfasern durch die Ermittlung dieses Mindestwertes untersucht. Daraus ergab sich als Obergrenze für die Einkopplungsbedingung für Gradienten(profil)fasern ein Wert von 95:95. Dies lässt sich recht gut mit der in Bild 6 dargestellten Obergrenze vereinbaren, bei der eine Einkopplungsbedingung von 90:85 zugrunde gelegt wurde.

Weitere Untersuchungen ermöglichten auch die Festlegung von Ober- und Untergrenzen für die zulässigen Werte der Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen. Diese Grenzen beruhen auf den in [13] festgelegten Aufteilungen. Die empfohlenen Nah- und Fernfeldgrenzen der normalisierten Leistungsaufteilung sind Bild 7 zu entnehmen. Die Grenzen sind eine Gratwanderung zwischen dem Verringern von Schwankungen der Einfügungsdämpfung eines Bauteils innerhalb des zulässigen Bereiches und der einfachen Änderung einer Quelle, damit sie innerhalb des Bereiches liegt.

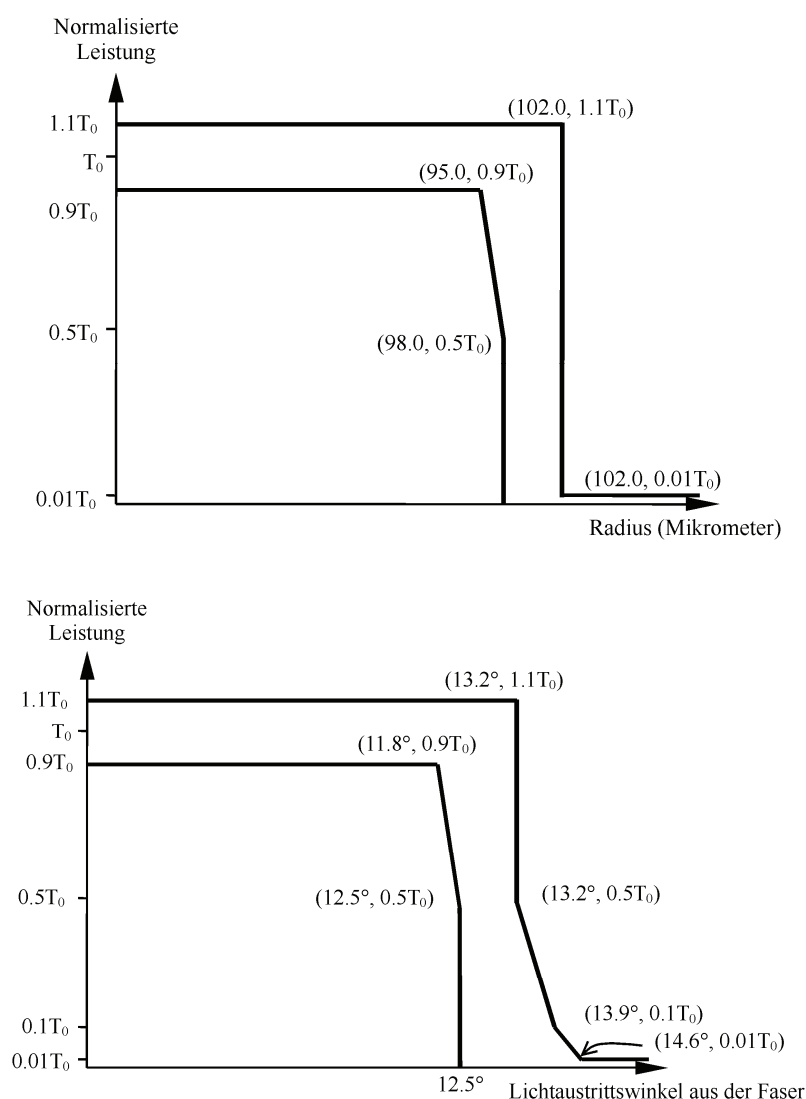


Bild 7

Empfohlene Grenzen von Nahfeld- und Fernfeld-Leistungsaufteilungen der Quelle für die Messungen der Einfügungsdämpfung an Eurofighter-Stufenprofilfasern (Kerndurchmesser von 200 µm, numerische Apertur von 0,24)