

Messung von Leistung und Dämpfung in Lichtwellenleitern

Frank Pagels

26. Juli 2001



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Informationsübertragung mittels Lichtwellenleiter	5
2	Leistung und Dämpfung	5
2.1	Entstehung von Verlusten in LWL	5
2.2	Leistungsmessung	6
2.3	Dämpfungsmessung	7
2.4	Methoden zur Dämpfungsmessung	8
2.4.1	Rückschneidemethode	8
2.4.2	Einfügemethode	8
2.4.3	Rückstreuungsmessung	10
3	Zusammenfassung	11

Abbildungsverzeichnis

1	Grundprinzip der optischen Leistungsmessung	7
2	Rückschneidemethode	8
3	Methode 6	9
4	Methode 7	9
5	Das Grundprinzip der Rückstreuungsmessung	10

this documentation was completely written and assembled using \LaTeX on an **AMIGA tm**

1 Einleitung

1.1 Informationsübertragung mittels Lichtwellenleiter

Die optische Informationsübertragung ist mit Hilfe von Lichtwellenleitern (LWL) oder über die Freiraumausbreitung möglich. Längere Entfernungen werden im allgemeinen mit LWL überbrückt. Für kurze Entfernungen genügen manchmal auch eine Freiraumübertragungen.

Ein elektrisches Signal moduliert in einem Sendermodul einen optischen Träger und erzeugt damit ein elektrisches Signal. Hierbei kann die Modulation analog oder digital erfolgen. Als Sender kommen Lumineszenz- oder Laserdioden zum Einsatz. Beim Einspeisen des optischen Signals in den LWL muss auf eine hohe Qualität der Einkopplung geachtet werden, um Einkoppelverluste möglichst minimal zu halten.

2 Leistung und Dämpfung

Die Dämpfung der Komponenten eines LWL-Systems begrenzt deren Reichweite und damit Leistungsfähigkeit. Die Dämpfung gehört damit zu den wichtigsten Parametern in der LWL-Technik. Die Dämpfung berechnet sich aus dem Verhältniss zweier Leistungen. Man muß also zunächst in der Lage sein, Leistungen fehlerfrei und reproduzierbar zu messen.

Die Messung von Leistungen bzw. Dämpfungen sind die wichtigste Meßmethode schlechthin. Sie ist sowohl zur Charakterisierung einzelner LWL-Komponenten als auch kompletter Netze erforderlich.

2.1 Entstehung von Verlusten in LWL

Bei LWL gibt es viele Stellen die zu Verlusten führen können. Mögliche Verlustquellen sind:

- Materialfehler: Einschlüsse und Materialfehler
- Toleranz von Mantel- und Kerndurchmesser. Auch die Faseraufnahme des Steckers hat Toleranzen.
- Mikrobiegungen: Ein Herstellerfehler der mikroskopische Krümmungen verursacht und sich innerhalb einer gewissen Toleranzgrenze befinden muss.
- Makrobiegungen und Kerbungen: Entstehen durch mechanischer Beanspruchung der Faser. Zum Beispiel durch starke Biegung, Druck oder Verletzung mit/an scharfen Gegenständen.
- Luftblasen und Verengungen: Entstehen durch unsachgemäßen Spleißen.
- Kratzer auf den Faserstirnoberfläche der Stecker: Entstehen bei schlechter Steckerpolitur, verschmutzten Buchsen oder falschen Umgang mit den Steckern.

Wichtig ist hierbei noch die Faserdämpfung zu nennen. Die Dämpfung einer Faser ist abhängig von der Wellenlänge des Lichts. Der Dämpfungsanstieg zu niedrigen Wellenlängen hin ergibt sich durch mikroskopische Inhomogenitäten im lichtführenden Material. Sie wird als sogenannte *Rayleigh-Streuung* bezeichnet. Sie verläuft proportional zu $1/\lambda^4$. Bei höheren Wellenlänge steigt die Dämpfung durch die Absorption des Materials. Die Lichtenergie wird in eine andere Energieform (Wärme) oder in Licht einer anderen Wellenlänge umgewandelt.

Verunreinigung des Quarzglas durch Metallionen und OH-Ionen überlagert diese beiden Effekte

und führen zu Dämpfungsspitzen im Bereich von 950nm, 1250nm und 1400nm. Die Streuung an diesen optischen Inhomogenitäten wird als *Mie-Streuung* bezeichnet. Die Mie-Streuung kann durch höchste Reinheit bei der Fertigung minimiert werden. Die dadurch entstehenden Dämpfungsminima werden *optische Fenster* genannt. In der optischen Nachrichtentechnik werden zur Übertragung Wellenlängen aus diesen Bereichen genutzt. Das absolute Dämpfungsminimum liegt bei $\lambda = 1550\text{nm}$ unterhalb von 0,2dB/km.

Beim Auskoppeln aus der Faser auf die Fotodiode treten kaum Verluste auf, da der lichtempfindliche Teil ausreichend groß ist, um die volle Leistung aufzunehmen. Deshalb können diese Verluste üblicherweise vernachlässigt werden.

2.2 Leistungsmessung

Um die Dämpfung von LWL zu ermitteln benötigt man eine fehlerfreie Leistungsmessung. Es ist also wichtig, daß die Leistung einer Lichtwellenleiterstrecke korrekt ermittelt wird.

Die Messung der optischen Leistung erfolgt mit Hilfe eines optischen Empfängers der geeicht wurde. Prinzipiell unterscheidet man zwischen der Gleichlicht- und der Wechsellichtmessung. Bei der Gleichlichtmessung wird der Mittelwert des optischen Pegels gemessen.

Bei der Wechsellichtmessung wird das Licht mit einer bestimmten Frequenz moduliert, und das modulierte Licht wird am optischen Empfänger nur innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches gemessen. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß Fremdlicht das Meßergebnis nicht beeinflusst. Dagegen bei der Gleichlichtmessung kann Umgebungslicht beispielweise über den Sekundärschutz zum Detektor gelangen und bei der Messung von sehr kleinen Leistungen das Meßergebnis beeinflussen.

Eine prinzipielle Meßanordnung zur Leistungsmessung ist in Abbildung 1 dargestellt. Das Licht des Lichtwellenleiters fällt auf die Photodiode, wird dort in ein elektrisches Signal gewandelt und anschließend elektronisch verstärkt. Die Detektorfläche muß so bemessen sein, daß der gesamte Strahlungskegel, der aus dem Lichtwellenleiter austritt, auf die Photodiode fällt. Die Messung absoluter Leistungswerte unterliegt einer Reihe von Fehlerquellen, die große Toleranzen der Meßergebnisse bewirken.

Bei der Kalibrierung der Meßgeräte bezüglich einer optischen "Urleistung" können bereits durch Alterung, Transport und Nichtlinearitäten Ungenauigkeiten von 6% auftreten. Ganz besonders stabile Sender erhalten eine Regelung über einen Abzweig und einen Detektor.

Durch einen schräg gestellten Detektor wird verhindert, daß reflektiertes Licht wieder in den Lichtwellenleiter eingekoppelt wird, zum Sender läuft und dessen Emissionseigenschaften verändert. Eine solche Maßnahme ist vor allem bei rückwirkungsempfindlichen Laserdioden wichtig.

Der Meßwert kann bei längere Betriebsdauer Schwankungen unterliegen. Ausserdem kann er durch die Umgebungstemperatur beeinflusst werden.

Der Detektor besitzt eine Empfindlichkeit, die von der Wellenlänge abhängt. Die gemessene Leistung ist nur exakt, wenn am Empfänger die entsprechende Wellenlänge eingestellt wird.

Diese Empfängereigenschaften, wie Reflexionsfalle bzw. Wellenkalibrierung, sind für Leistungsmessungen erforderlich, nicht aber für Dämpfungsmessungen, da durch die Bildung des Verhältnisses aus zwei Leistungen sich diese Effekte kürzen.

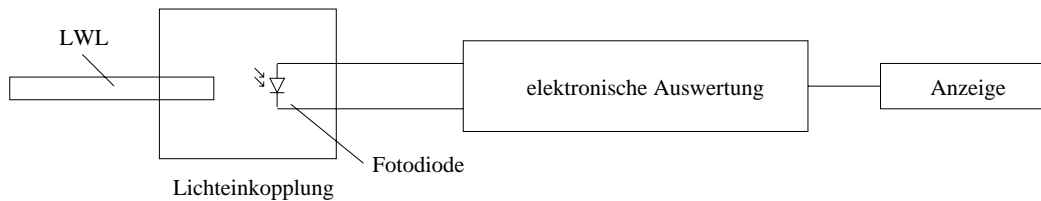


Abbildung 1: Grundprinzip der optischen Leistungsmessung

2.3 Dämpfungsmessung

Die Dämpfung A wird als Verhältniszahl in Dezibel (dB) angegeben.

$$A = 10 * \lg \left(\frac{P_E}{P_A} \right)$$

A Dämpfung in dB

P_E eingekoppelte Leistung in Watt

P_A ausgekoppelte Leistung in Watt

Der Wert der Dämpfung ist immer positiv. Eine Zunahme um 3dB bedeutet eine Verdoppelung der Dämpfung, d.h. eine Halbierung der übertragenen Lichtleistung.

In der Nachrichtentechnik werden Leistungen mit obiger Formel auf 1mW bezogen. Diese *normierte Leistung* wird in dBm angegeben. Das "m" kennzeichnet die Normierung auf 1mW. Ein Minuszeichen zeigt an, daß die Leistung unter 1mW liegt. Der Vorteil dieser Schreibweise ist, daß Leistungen einfach subtrahiert werden können. Das Ergebnis ist die Dämpfung in dB. Eine Skala hilft bei der schnellen Umrechnung der in der optischen Übertragungstechnik gebräuchlichen Leistungen.

Während für die Leistungsmessung nur ein Empfänger erforderlich ist, benötigt man für die Dämpfungsmessung sowohl einen Sender als auch einen Empfänger. An verlegten Lichtwellenleitern sind zur Dämpfungsmessung stets zwei Personen erforderlich.

Die Verfahren zur Dämpfungsmessung unterscheiden sich je nachdem welches Bauelement zu messen ist. Grundsätzlich ist bei allen Messungen auf folgendes zu achten:

- Absolute Sauberkeit und gut präparierte LWL-Endflächen
- Durch geeignete Führung des Lichtwellenleiters sind Makrokrümmungsverluste zu vermeiden.
- Es muß auf die Einstellung des richtigen Wellenlängenbereichs an Sender und Empfänger geachtet werden, da die Dämpfung stark von der Wellenlänge abhängt.
- Zur Realisierung von Dämpfungsmessungen an Multimode-LWL mit hoher Genauigkeit muß mit einer angenäherten Modengleichgewichtsverteilung eingekoppelt werden.
- Bei Messungen mit unmoduliertem Sender ist darauf zu achten, daß kein Fremdlicht auf den Empfänger fällt.
- Bei Messungen mit moduliertem Sender muß der Empfänger für die Modulationsfrequenz ausgelegt sein. (Gebräuchlich sind 270Hz)

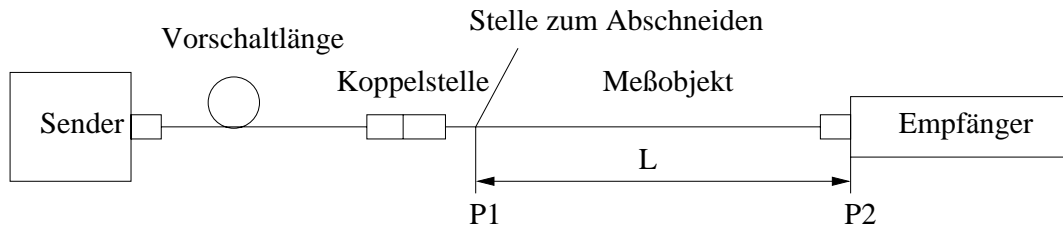


Abbildung 2: Rückschneidemethode

2.4 Methoden zur Dämpfungsmessung

Die gebräuchlichsten Methoden der Dämpfungsmessung sind:

- Rückschneidemethode oder Abscheinemethode (cut-back technique)
- Einfügemethode (insertion loss technique)
- Rückstreuungsmessung (backscattering technique)

2.4.1 Rückschneidemethode

Bei der Rückschneidemethode wird die Leistung eines optischen Senders über eine Vorschaltlänge und eine Koppelstelle in das Meßobjekt eingekoppelt. Es wird zunächst die optische Leistung P_2 am Ende der Übertragungsstrecke gemessen. Danach wird einige Meter hinter der Koppelstelle der Lichtwellenleiter durchgeschnitten, der Empfänger an dieser Stelle angesetzt und eine Leistung P_1 ermittelt. (Abbildung 2)

Die Dämpfung des abgeschnittenen Stückes Lichtwellenleiter der Länge L ergibt sich zu:

$$A = 10 * \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß das Meßergebnis nicht durch die senderseitige Koppelstelle beeinflusst wird, da diese zwischen den beiden Messungen unverändert bleibt. Es wird nur die empfängerseitige Koppelstelle verändert, die unkritisch ist, da am Empfänger großflächig gemessen wird. Nachteilig ist natürlich, daß das Meßobjekt zerstört wird und nach der Messung mitunter nicht mehr brauchbar ist. Deshalb werden solche Verfahren vorzugsweise bei Labormessungen an primärgeschützten unkonfektionierten Lichtwellenleitern benutzt. Zum Beispiel bei der Ausmessung von faseroptischen Komponenten.

2.4.2 Einfügemethode

Da bei der Rückschneidemethode das Meßobjekt zerstört wird, erlangte die Einfügemethode eine größere Bedeutung. Es wird hier zwischen verschiedenen Einfügemethoden unterschieden. Die größte Bedeutung haben die Methoden 6 und 7 erlangt.

Die Methode 6 (Abb 3) ist für beidseitig konfektioniertes Kabel geeignet, kann aber auch allgemein zur Messung einer Einfügedämpfung faseroptischer Komponenten angewandt werden.

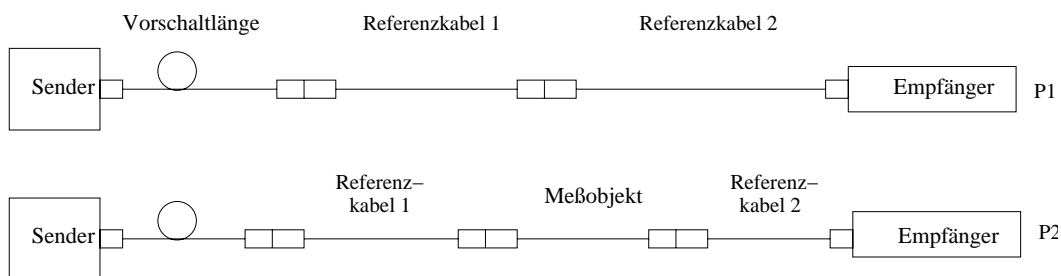


Abbildung 3: Methode 6

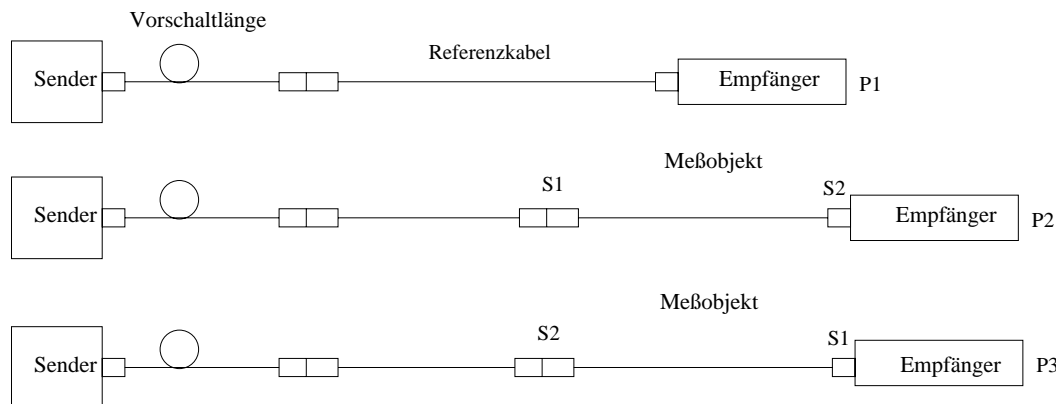


Abbildung 4: Methode 7

Zunächst wird die Leistung P_1 über zwei Referenzkabel gemessen, die über zwei Referenzstecker und einen Referenzadapter verbunden wurden. Dabei versteht man unter Referenzstecker und Referenzadapter Bauelemente mit besonders engen Toleranzen, um extrinsischen Verluste bei der Kopplung möglichst gering zu halten. Ausserdem muß auf die Qualität der Steckerstirnflächen besonders geachtet werden, da ein zunehmender Verschleiß der Steckerstrinfläche ebenfalls zu einer Dämpfungserhöhung führt.

Anschliessend wird daß Meßobjekt eingefügt und die Leistung P_2 gemessen. Die Dämpfung wird dann nach der Gleichung:

$$A \approx 10 * \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

berechnet. Voraussetzung für zuverlässige Meßwerte ist, daß die Lichtwellenleiter die gleichen Parametere aufweisen.

Bei dieser Methode wird eine etwas zu große Dämpfung gemessen, da bei der Normierung eine Steckverbindung zu wenig besteht. Eine zusätzliche Steckverbindung bewirkt immer eine zusätzliche Dämpfung.

Bei der Methode 7 (Abb 4) wird generell auf den Einsatz eines nachgeschalteten Referenzkabels verzichtet. Diese Anordnung ermöglicht nur die Messung der Steckverbindungen hinter dem Referenzkabel.

Durch die großen Flächen der Empfangsdiode ist die Dämpfung der 2. Streckenverbindung am Meßempfänger vernachlässigbar gering und deshalb ist die Qualität des Steckers S_2 nicht

meßbar. Deshalb müssen anschließend die Anschlüsse des Meßobjektes vertauscht und die Messung wiederholt werden. Man mißt jeweils die Dämpfung von nur einem Steckverbinder und die Dämpfung des Kabels. Ist dieses zu kurz, so wird im wesentlichen nur die Dämpfung des ersten Steckverbinders gemessen.

Eine kleine Leistung P_2 deutet auf einen schlechten Stecker S_1 und eine kleine Leistung P_3 auf einen schlechten Stecker S_2 . Auf diese Weise ist es möglich, schlechte Steckverbindungen zu identifizieren.

Für die Dämpfung A des Meßobjektes einschließlich der beiden Steckverbinder ergibt sich für den Fall, daß die Dämpfung des Lichtwellenleiters vernachlässigbar ist:

$$A_{dB} = P_{2dB} + P_{3dB} - 2P_{1dB}$$

Diese Methode läßt sich für die Herstellung von Pigtails verwenden. Das Kabel wird nach den drei Messungen zerschnitten.

2.4.3 Rückstreuung

Die Rückstreuung soll hier nur kurz erläutert werden. Eine genauere Betrachtung würde hier zu viel Platz benötigen, da das Thema, besonders die Auswertung, sehr umfangreich ist.

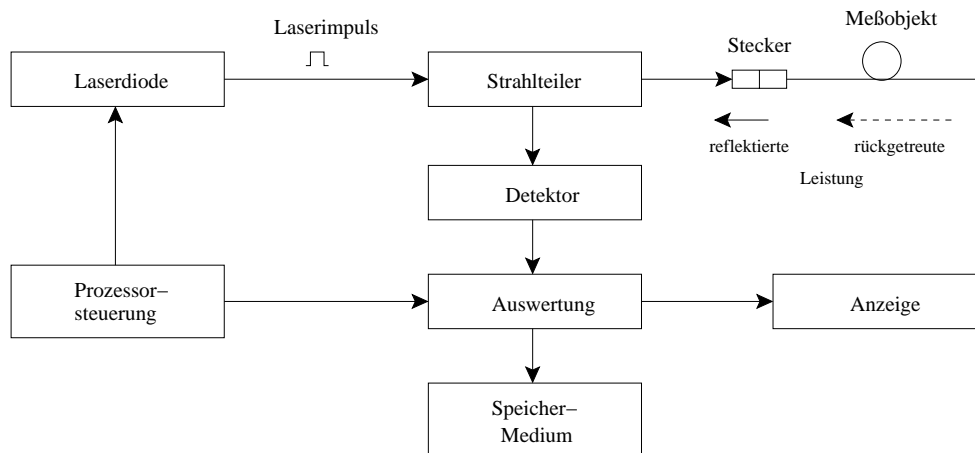


Abbildung 5: Das Grundprinzip der Rückstreuung

Die Rückstreuung an Lichtwellenleitern ist ein universelles Meßverfahren. Mit seiner Hilfe kann ein installiertes LWL-Netz umfassend charakterisiert werden. Diese Methode liefert Aussagen über die Eigenschaften des Netzes, wie Dämpfung, Dämpfungskoeffizienten, Störstellen (Stecker, Spleiße, Unterbrechungen), deren Dämpfungen und Reflexionsdämpfungen sowie die Streckenlängen bis zu den jeweiligen Ereignissen auf dem Lichtwellenleiter.

Ein kurzer leistungsstarker Laserimpuls wird über einen Strahlteiler an den Gerätestecker in den zu messenden Lichtwellenleiter eingekoppelt. Der Lichtwellenleiter bewirkt aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften den Rückfluß eines geringen Anteils der eingekoppelten Leistung.

Der Strahlteiler in Abbildung 5 dient zur Richtungstrennung von hin- und rücklaufendem Signal. Dieser kann durch diskrete optische Anordnungen realisiert werden.

Durch das Teilerprinzip entsteht sowohl in Hin- als auch in Rückrichtung ein Verlust von mindestens 3dB. Dieser Gesamtverlust von mehr als 6dB verringert die Dynamik des Meßgerätes und letztendlich die maximale ausmeßbare Streckenlänge. Das rückgetreute und reflektierte Licht gelangt zum Detektor, der extrem empfindlich sein muß, und das Signal wird der Auswertung zugeführt. Mit Hilfe der Prozessorsteuerung erfolgt eine Synchronisation zwischen dem Zeitpunkt der Emission des Laserimpulses und dem der Detektion. Aus der Verzögerung zwischen beiden Signalen kann man auf die Laufzeit des detektierten Signals schließen und damit letztendlich auf den Ort des jeweiligen Ereignisses. Da das detektierte Signal sehr klein ist, muss die Messung viele Male wiederholt werden, um es aus dem Rauschen herauszuheben.

3 Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Methoden zur Leistung und Dämpfungsmessung vorgestellt. Die Meßgenauigkeit bei der Ermittlung absoluter optischer Leistungen kann durch vielfältige Effekte beeinträchtigt werden, so daß die Meßwerte mit relativ großen Toleranzen behaftet sein können. Zur Realisierung reproduzierbarer Dämpfungsmessung muß in den Lichtwellenleiter definiert eingekoppelt werden. Dies erfolgt mit Hilfe verschiedener Anordnungen, die im Multimode-LWL eine Modengleichgewichtsverteilung bewirken und im Monomode-LWL optische Leistungen unterdrücken, die nicht zur Hauptmode gehören. Bei den Dämpfungsmessungen muss bezüglich Genauigkeit und Aufwand in Abhängigkeit von der jeweiligen Meßaufgabe optimiert werden. Auch die Meßergebnisse der Dämpfungsmessung können durch verschiedene Einflüsse verfälscht werden. Insbesondere bei der Ausmessung sehr kurzer Strecken können die ermittelten Dämpfungskoeffizienten stark fehlerbehaftet sein.

Literatur

- [Eber00] Eberlein, Dieter: Lichtwellenleiter-Technik. expert verlag, Renningen 2000
- [Wrob98] Wrobel, Christoph: Optische Übertragungstechnik in der Praxis. Hüthig, Heidelberg 1998
- [Blu98] Bludau, Wolfgang: Lichtwellenleiter in Sensorik und optischer Nachrichtentechnik, Springer, Berlin 1998