



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

KOBLENZ



Untersuchung an Lichtwellenleitern

Chrisitan Rutkowski

Schule:

Bischöfliches Cusanus-Gymnasium
Hohenzollernstraße 13-17
56068 Koblenz

FACHGEBIET: PHYSIK

Jugend Forscht 2010

Thema: Untersuchung an Lichtwellenleitern

von Christian Rutkowski

13.12.2009

Inhaltsverzeichnis

1.) Einführung in die Thematik der Lichtwellenleiter	Seite 3
2.) Grundlagen der Lichtwellenleiter	
2.1) Totalreflexion	
2.2) Brechungsindexzahl	Seite 4
2.3) Akzeptanzwinkel	
2.4) numerische Apertur	
2.5) Multimodefaser	Seite 5
2.6) Singlemodefaser	
2.7) Dämpfung	
2.8) Krümmungsradius	
3.) Macrobendingeffekt	Seite 6
3.1) Versuchsaufbau	
3.2) Vorbereitung	Seite 7
3.3) dB-Skala Erklärung	Seite 8
3.4) Durchführung	
3.5) Bearbeitete Messwerttabelle	Seite 10
3.6) Messwerte in Diagrammen	Seite 11
3.7) Auswertung der Ergebnisse	Seite 12
3.8) Praktische Bewandtnis	
4.) Anhang	Seite 13
5.) Glossar	Seite 14
6.) Quellen	Seite 15

1) Einführung in die Thematik Lichtwellenleiter:

Schon in früheren Zeiten wurde Licht als Signal genutzt, so zum Beispiel als Signalgeber. Auch heute noch wird Licht als Signal genutzt, bei Ampelanlagen im Straßenverkehr (siehe Abbildung 1.1) oder als Lichtsignale auf Schiffen der Marine (siehe Abbildung 1.2), die zur Verständigung dienten. Aber heutzutage wird Licht auch als Übertragungsmedium für Daten (Lichtwellenleiter in der Telekommunikation), zur Übertragung von Energien (Lasern), Beleuchtungs- und Abbildungszwecke und für die Messtechnik genutzt.



Abbildung 1.1



Abbildung 1.2

Im weiteren Verlauf wird der **Lichtwellenleiter(LWL)** im Einsatz als Übertragungsweg für die Kommunikationstechnik betrachtet.

2) Grundlagen der Lichtwellenleiter:

Ein solcher Lichtwellenleiter, auch Glasfaser genannt, besteht im Wesentlichen aus einem Kern, einem Siliziumdioxid-Mantel und einer gefärbten Schutzschicht. Die Übertragung des Lichts in der Faser findet nach dem Prinzip der **Totalreflexion** statt. Wird Licht aus einem optisch dichteren Medium auf ein optisch dünneres Medium geleitet, so wird dieses je nach Auftreffwinkel entweder gebrochen oder reflektiert. (Siehe Abbildung 2.1) Verringert man den Lichteinfallswinkel zur optischen Achse hin, wird eine Totalreflexion des Lichtstrahles erreicht. Die Totalreflexion ist nur möglich wenn Licht von einem optisch dichteren auf ein optisch dünneres Medium trifft. Der umgekehrte Fall ist nicht möglich.

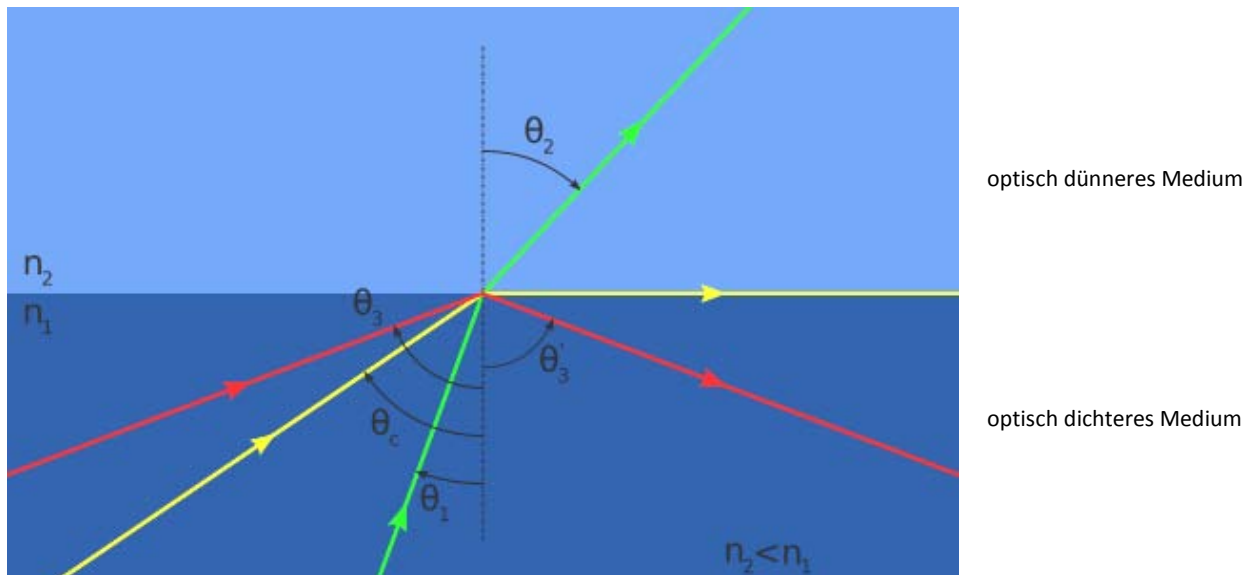


Abbildung 2.1 – Rot: Licht wird reflektiert; Gelb und Grün: Licht wird gebrochen

Wie in Abbildung 2.1 zu sehen wird ein Medium mit der **Brechungsindexzahl n (Brechzahl)** beschrieben. Diese Brechzahl beschreibt das Verhältnis der Lichtausbreitung im Vakuum, zur Lichtausbreitung in einem anderen Medium. Nun ein Beispiel zur Berechnung dieses Verhältnisses für ein Glasfaserkabel.

Lichtausbreitungsgeschwindigkeit: Vakuum $c_1=300.000 \text{ km/s}$
 Glas $c_2=200.000 \text{ km/s}$

$$n_1 = \frac{c_1}{c_2} = \frac{300.000 \text{ km/s}}{200.000 \text{ km/s}} = 1,5$$

Um den Effekt der Totalreflexion zu ermöglichen, besteht der Mantel aus hochreinem Siliziumdioxid SiO_2 . Um im Kern eine größere Brechzahl gegenüber dem Mantel zu erzielen, wird das hochreine Siliziumoxid mit Germanium Ge verunreinigt (dotiert). So ist die Brechzahl im Kern größer (optisch dichteres Medium = n_1 in Abbildung 2.1) als im Mantel (optisch dünneres Medium = n_2 in Abbildung 2.1), die Bedingung zur Lichtübertragung im LWL ist gegeben. Zudem kommt zur idealen Totalreflexion noch hinzu, dass der Einfallswinkel des Lichts einen Grenzwinkel nicht überschreiten darf. Dieser größtmögliche Einfallswinkel wird **Akzeptanzwinkel** genannt und ist von der Brechzahl des Kerns und Mantels abhängig. Der Sinus dieses Akzeptanzwinkels wird als **numerische Apertur (NA)** bezeichnet. Siehe Abbildung 2.2.

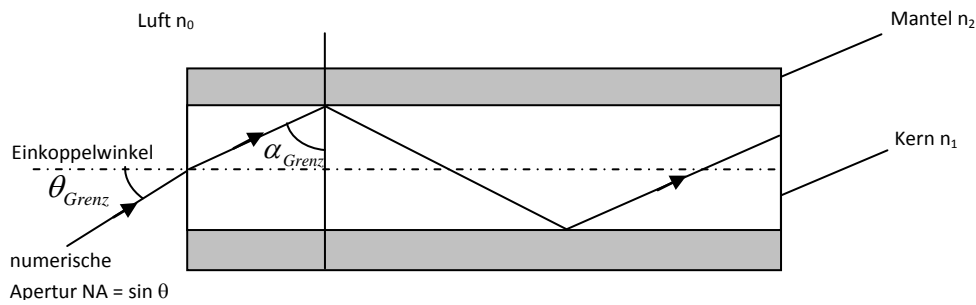


Abbildung 2.2

Man unterscheidet heute in der Übertragungstechnik zwischen 2 verschiedenen Lichtwellenleitertypen, die **Multimodefaser(MM)**, welche auf kurzen Strecken bis ca. maximal 2km eingesetzt wird und die **Singlemodefaser(SM)**, welche auf längeren Strecken, bis über 100 km, eingesetzt wird .

Die so genannten **Moden** sind die verschiedenen Wege in einer Glasfaser die das Licht entlanglaufen kann. Es wird zwischen zwei LWL-Typen unterschieden:

- Multimode LWL
Die Multimodefaser hat einen Kerndurchmesser von 50 μm od. 62,5 μm , es sind bis zu hundert Moden ausbreitungsfähig.
- Monomode-, Einmode- od. Singlemode-LWL
Der Kerndurchmesser der Singlemodefaser ist so klein ($< 10 \mu\text{m}$), dass bei der Betriebswellenlänge nur eine einzige Mode, die Grundmode, ausbreitungsfähig ist.

Der Durchmesser des Fasermantels beträgt 125 μm . Die Singlemode- und Multimodefaser unterscheiden sich in dem Durchmesser des Kerns. Dieser beträgt bei der Singlemodefaser 9 μm und bei der Multimodefaser im europäischen Bereich 50 μm . Durch die zeitgleiche Entwicklung des Lichtwellenleiters in Amerika und Europa, beträgt der Kerndurchmesser im Amerikanischen Bereich 62,5 μm .

Jedoch der größere Unterschied jedoch zwischen dem Single- und Multimodekabel ist die **Dämpfung** pro Kilometer (SM 0,23 – 0,35 dB/km , MM 50 μm 0,6 – 2,7 dB). Im Weiteren beschäftige ich mich mit der Singlemodefaser, da diese in Weitverkehrsnetzen mit Wellenlängen größer 1310nm eingesetzt wird. Mit größerer Wellenlänge steigt die Empfindlichkeit (Dämpfung) der LWL Faser gegenüber dem Biegeradius/Macrobendingeffekt. Zur Verlegung von LWL-Kabeln wird ein minimaler Biegeradius von 30mm für die Faser und 30cm für das Kabel vorgeschrieben.

Bei der Wellenlänge von 1310nm (welche überwiegend bei der Übertragung auf Strecken bis ca. 30km genutzt wird) verteilt sich die Lichtleistung im Kern so, dass fast ausschließlich die Lichtenergie im Faserkern geführt wird.

Je höher die Wellenlänge umso mehr verteilt sich die Lichtleistung bis in den Fasermantel. Biegt man die Faser, wird nicht mehr die gesamte im Mantel geführte Lichtenergie in den Kern zurückreflektiert und strahlt aus der Faser heraus. Die Folge ist eine erhöhte Dämpfung. Dieser Effekt wird mit **Macrobending** bezeichnet. Allerdings wird bei zu starker Krümmung auch die innere Struktur der Faser beeinträchtigt bzw. beschädigt, so dass die Lebensdauer der Faser erheblich eingeschränkt wird. Um eine fehlerhafte Installation (mit zu stark gekrümmter Faser) zu erkennen, wird in der Praxis die Dämpfung der Übertragungsstrecke mit zwei Wellenlängen gemessen (1310nm und 1550 nm). Werden zwischen beiden gemessenen Dämpfungswerten Unterschiede festgestellt (Dämpfung bei 1550nm größer als bei 1310 nm), handelt es sich um einen Fehler aufgrund von Macrobending.

In meinem Versuch möchte ich untersuchen:

- „Welche Sicherheit bietet der vorgeschriebene min. Faser-Biegeradius von 30mm?“
- „Ab welchem Biegeradius ist ein Dämpfungsunterschied zwischen der Wellenlänge 1310nm und 1550nm messbar?“
- „Ab welchem Radius werden Dämpfungsverluste bei der Wellenlänge 1310nm festgestellt?“

3) Macrobendingeffekt:

Für die Durchführung des Versuches benötigt man einen Dämpfungsmessplatz bestehend aus einer Laserquelle und einem optischen Leistungsmessgerät(Empfänger), eine Vorlauffaser und eine LWL-Faser als Messobjekt. Die Dämpfung messe ich mit Hilfe der Dämpfungsmessbrücke. Als Laserquelle verwende ich einen Laser der Firma JDSU mit der Bezeichnung OLS-56 und als Empfänger einen Leistungsmesser der Firma JDSU mit der Bezeichnung OLP-55. Die Vorlauffaser, bestehend aus einer Singlemode LWL-Faser mit einer Länge von 1000m, wird verwendet damit sich das Signal „einpendeln“ kann. Das Messobjekt ist in diesem Versuch ein normales LWL SM Patchkabel, an dem der Mantel entfernt wird, so wie die Faser in der Praxis in einer Spleißkassette verlegt ist. Jedoch ist die Faser nicht blank, sondern behält aus Sicherheitsgründen ihre dünne Kunststoffschicht, da sonst die Brechgefahr der Faser zu hoch wäre (Versuchsaufbau siehe Abbildung 3.1).

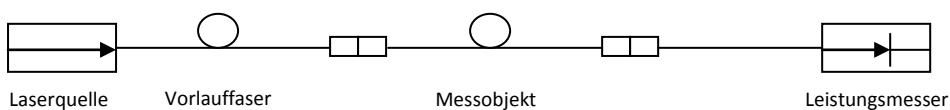


Abbildung 3.1

Bevor die Messung durchgeführt werden kann, muss der **Dämpfungsmessplatz** zunächst normiert werden. Dann wird die **Dämpfung** (in **dB** gemessen; eine Definition ist im Anhang zu finden) der Teststrecke auf 0dB gesetzt und so als **Referenzwert** gespeichert, von dem wir bei den späteren Messungen ausgehen werden. Ein Referenzwert ist nötig, damit die gemessene Dämpfung nur durch die Krümmung der Faser verursacht wird. Alle Dämpfungswerte der Verbindungskabel werden eliminiert. Vor der Normierung lasse ich die Messgeräte ca. 10 Min. eingeschaltet um einen stabilen Zustand (Stabilität der Laserdiode, Betriebstemperatur) für die Messung zu erhalten. In Abbildung 3.2 ist die Teststrecke zur Ermittlung des Referenzwertes dargestellt.

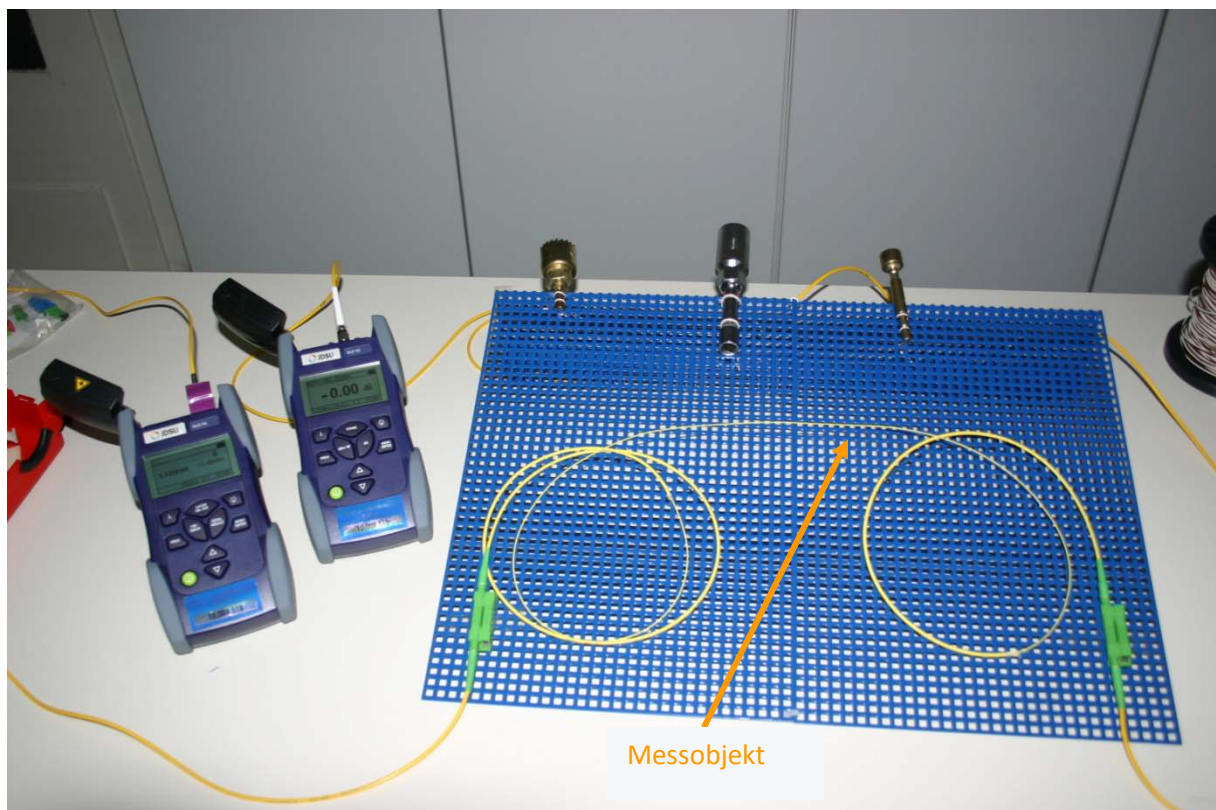


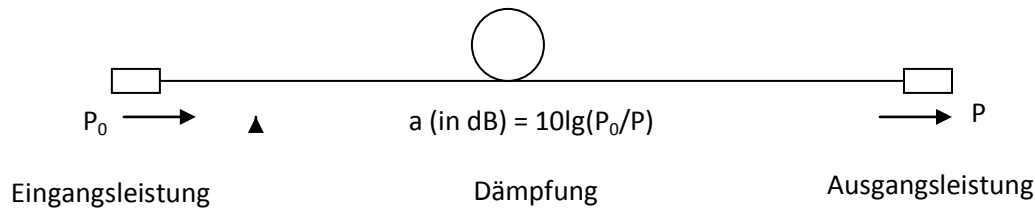
Abbildung 3.2

Das Starteingangssignal beträgt $-3,00\text{dBm}$ das entspricht einem Leistungspegel von ca. $500\mu\text{W}$.

Erklärung:

In der (optischen) Nachrichtentechnik wird die Dämpfung als dimensionslose Größe a in Dezibel angegeben.

Beispiel:



Der Wert der Dämpfung z.B. 3,75 dB beschreibt den relativen Leistungsverlust auf der Übertragungsstrecke, unabhängig von der Eingangsleistung. Die Angabe in dB vereinfacht die Berechnung der Leistungsverhältnisse.

Beispiel:

P_0	= 75 mW	;	P_0	≈	18,75 dBm
P	= 31,62 mW	;	P	≈	15 dBm
P_0/P	= 2,37	;	$a (P_0-P)$	≈	3,75 dB

Die Übertragungsstrecke dämpft das ein gekoppelte Signal um den Faktor 2,37 oder um 3,75 dB. Die absolute Leistung des Signals wird in dBm angegeben. Für den Leistungspegel 1 mW ist der Wert 0 dBm festgelegt (Normiert).

Versuchsablauf:

Der Versuch wird bei den **Wellenlängen** 1310nm und 1550nm durchgeführt. Nun wird die Messfaser im Versuch in einem Krümmungsradius von 30mm verlegt, die Dämpfungsmessung mit den Messgeräten durchgeführt und der Wert wird gespeichert. Anschließend wird der Krümmungsradius immer weiter verringert und die Dämpfungsmesswerte gespeichert. In Versuch 3.2 wird der gleiche Versuch noch einmal durchgeführt, nur diesmal ist die Messfaser ummantelt, das heißt ein ganz übliches Patchkabel wird benutzt. Und in Versuch 3.3 wird die Messfaser ohne Mantel in 1 Windung gelegt. Bei allen Versuchsreihen werden verschiedene Bohrer als Hilfsmittel für den Biegeradius genommen. Die Messfaser wird jeweils um den Bohrer gelegt bzw. gewickelt.

Die verschiedenen Messaufbauten (Faser ohne Schutzmantel, Faser mit Schutzmantel, 1 Windung und $\frac{1}{2}$ Windung) sollen praxisnahe Zustände bei der Verlegung von LWL-Kabel simulieren.

Alle 3 Messreihen werden während der Messung vom Empfänger gespeichert und anschließend für jede Messung am Computer ausgelesen. In Abbildung 3.3 ist 1 Windung der Faser beim Messen zu sehen.

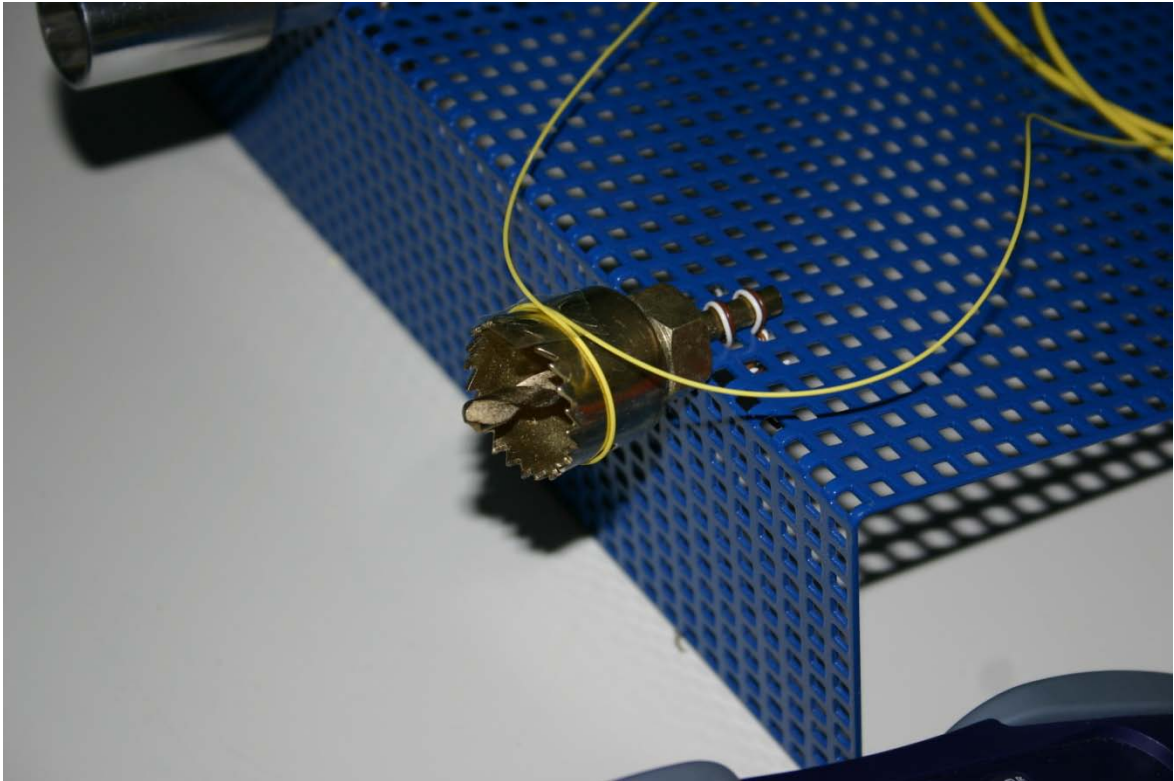


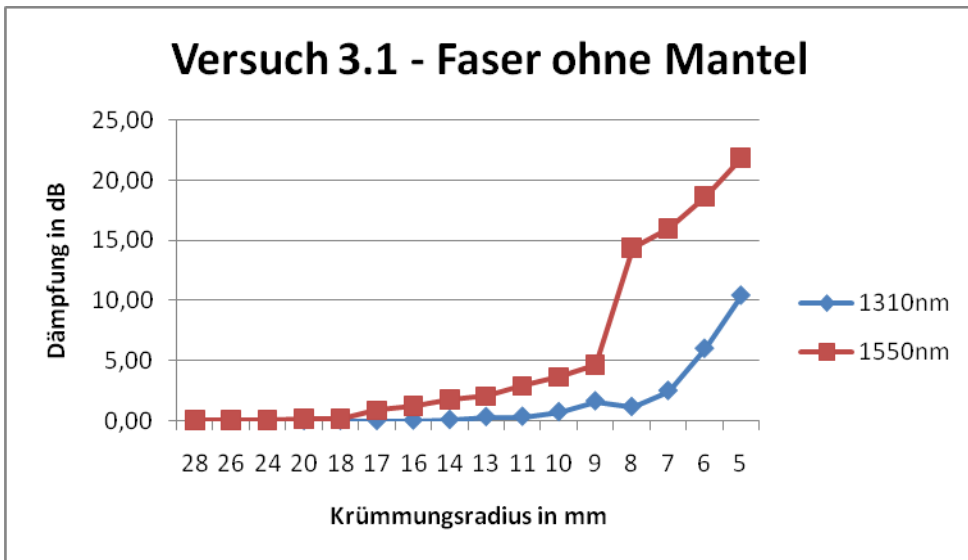
Abbildung 3.3 – Faser in einer Windung mit dem Radius 28mm

Ich habe in Abbildung 3.4 die wichtigen Daten herausgefiltert und anschaulich dargestellt. Die Originalmesstabelle, welches das Messgerät ausgibt, ist im Anhang unter Abb. 3.5 zu sehen.

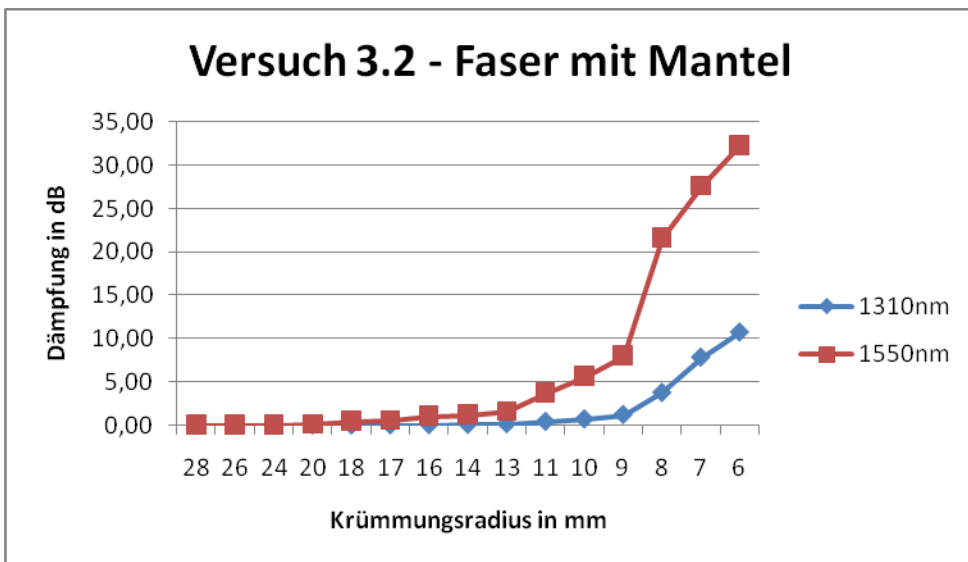


Versuch 3.1 (Faser ohne Mantel)			Versuch 3.2 (Faser mit Mantel)		
	λ_1 : 1310 nm	λ_2 : 1550 nm		λ_1 : 1310 nm	λ_2 : 1550 nm
Radius in mm	Dämpfung in dB	Dämpfung in dB	Radius in mm	Dämpfung in dB	Dämpfung in dB
28	0,00	0,01	28	0,00	0,00
26	0,00	0,03	26	0,01	0,01
24	0,00	0,02	24	0,01	0,03
20	0,00	0,13	20	0,01	0,14
18	0,01	0,13	18	0,01	0,49
17	0,01	0,82	17	0,02	0,55
16	0,04	1,20	16	0,04	1,07
14	0,09	1,73	14	0,08	1,24
13	0,33	2,02	13	0,14	1,60
11	0,36	2,86	11	0,42	3,75
10	0,74	3,61	10	0,70	5,68
9	1,65	4,65	9	1,22	8,01
8	1,17	14,40	8	3,78	21,64
7	2,51	16,01	7	7,88	27,68
6	6,04	18,67	6	10,79	32,36
5	10,47	21,89	5	nicht messbar	nicht messbar
Versuch 3.3 (Faser in 1 Windung)					
	λ_1 : 1310 nm	λ_2 : 1550 nm			
Radius in mm	Dämpfung in dB	Dämpfung in dB			
28	0,00	0,00			
26	0,00	0,11			
24	0,00	0,11			
20	0,00	0,90			
18	0,03	0,98			
17	0,03	2,58			
16	0,08	3,04			
14	0,22	5,83			
13	0,65	8,43			
11	1,96	13,73			
10	2,58	17,30			
9	2,90	18,01			
8	8,07	19,53			
7	16,71	24,14			
6	21,93	27,01			
5	33,20	27,58			

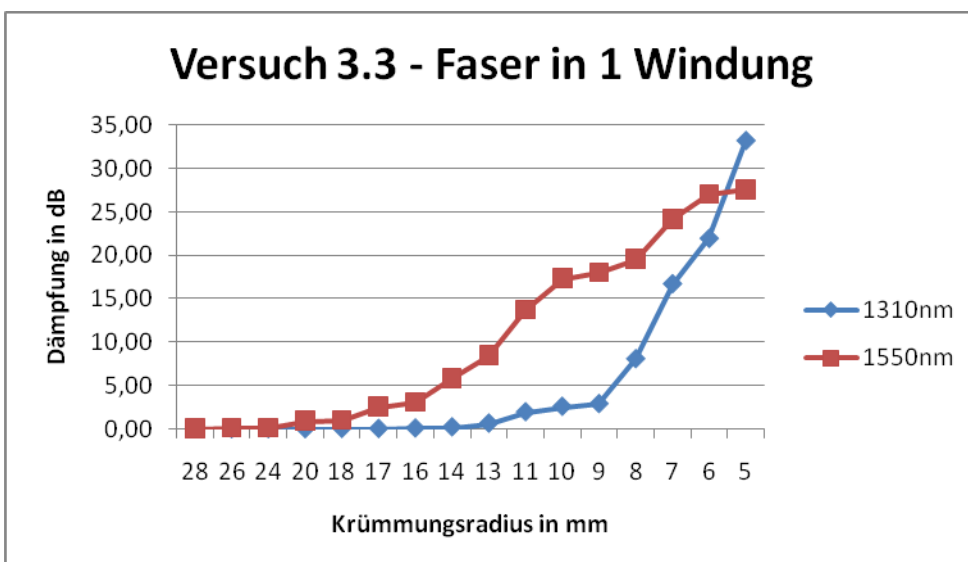
Abbildung 3.4 – Bearbeitete Messwerttabelle des Macrobendingversuches



Verlegung der Faser:



Verlegung der Faser:



Verlegung der Faser:

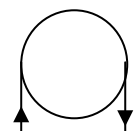


Abbildung 3.6 – Messwerte des Macrobendingversuches in Diagrammen

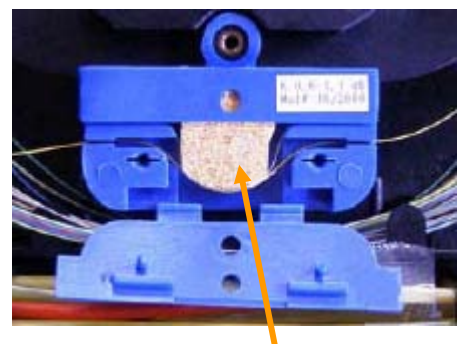
Wie in Abbildung 3.6 dargestellt ist bei allen 3 Versuchen zu sehen, dass die Dämpfung immer weiter zunimmt umso mehr man den Biegeradius ab einem bestimmten Wert weiter verringert. Zudem sieht man dass bei größeren Wellenlängen, hier 1550nm, eine Dämpfung früher auftritt und schneller zunimmt als bei der Wellenlänge 1310nm. Mit diesem Versuch kann der festgelegte Wert von 30mm (der in der Richtlinie der WSV festgelegt ist) der bei der Verlegung von LWL-Fasern nicht unterschritten werden darf, belegt werden. Es ist auch zu erkennen, dass die Norm zur Verlegung von LWL-Kabeln für den min. Biegeradius einen Sicherheitsfaktor einbezieht, da eine Signaldämpfung erst bei 26mm Radius auftritt. Ebenso stellt man fest, dass die Dämpfung bei der geringeren Wellenlänge erst auftritt, nachdem der min. Biegeradius erheblich unterschritten ist. Es bestätigt sich die Anweisung für die Praxis, dass zur Beurteilung der Qualität einer Kabelanlage u.a. die Dämpfung bei beiden Wellenlängen 1310nm und 1550nm zu messen ist. So wird heute, bei neuverlegten LWL – Kabelanlagen um Verlegefehler zu erkennen, immer eine Messung mit der Wellenlänge 1310 nm und 1550 nm durchgeführt. Durch solche Abnahmeprüfungen werden reibungslose Datenübertragungen gewährleistet.

Der Macrobendingeffekt wird in der Praxis allerdings auch zur Erkennung von fehlerhaften Muffen ausgenutzt. In der Muffe ist ein „Wassersensor“ eingebaut, indem ein kleiner Schwamm verbaut ist, der bei Wassereintrich aufquillt und so die Faser einer Krümmung aussetzt. Durch diese Krümmung kann mit Hilfe einer Dämpfungsmessung ein Wassereintrich festgestellt werden und mit der Rückstreuungsmessung der genaue Ort des Wassereintriches gemessen werden. In Abbildung 3.7 ist ein inaktiver Wassersensor zu sehen und in Abbildung 3.8 ein aktiver bzw. ausgelöster Wassersensor abgebildet.



Faser

Abbildung 3.7



Ausgelöster Schwamm

Abbildung 3.8

Als abschließendes Wort ist zuzusagen, dass die Technik der Lichtwellenleiter viele Vorteile hat im Vergleich zum herkömmlichen Kupferkabel, aber mit der neuen Technik sind auch viele Maßnahmen zur Instandhaltung und Wartung notwendig, die zeit- und kostenintensiv sind. So muss abgewogen werden ob die neue Technik an jedem Standort sinnvoll ist, ist im Vergleich zu alten Kupferleitungen.

Anhang:

Group	Meas	Date	Time	$\lambda 1$ nm	Level @ $\lambda 1$	Unit	Ref1 dBm	$\lambda 2$ nm	Level @ $\lambda 2$	Unit	Ref2 dBm
1	1	2009.Apr.01	13:49:59	1310	0,00	dB	-3,31	1550	-0,01	dB	-3,45
1	2	2009.Apr.01	13:50:33	1310	-0,01	dB	-3,31	1550	0,00	dB	-3,45
1	3	2009.Apr.01	13:51:52	1310	0,00	dB	-3,31	1550	-0,11	dB	-3,45
1	4	2009.Apr.01	13:53:14	1310	0,00	dB	-3,31	1550	-0,11	dB	-3,45
1	5	2009.Apr.01	13:54:58	1310	0,00	dB	-3,31	1550	-0,90	dB	-3,45
1	6	2009.Apr.01	13:56:36	1310	-0,03	dB	-3,31	1550	-0,98	dB	-3,45
1	7	2009.Apr.01	13:57:27	1310	-0,03	dB	-3,31	1550	-2,58	dB	-3,45
1	8	2009.Apr.01	14:10:17	1310	-0,08	dB	-3,32	1550	-3,04	dB	-3,44
1	9	2009.Apr.01	14:11:07	1310	-0,22	dB	-3,32	1550	-5,83	dB	-3,44
1	10	2009.Apr.01	14:12:02	1310	-0,65	dB	-3,32	1550	-8,43	dB	-3,44
1	11	2009.Apr.01	14:13:13	1310	-1,96	dB	-3,32	1550	-13,73	dB	-3,44
1	12	2009.Apr.01	14:14:03	1310	-2,58	dB	-3,32	1550	-17,30	dB	-3,44
1	13	2009.Apr.01	14:15:24	1310	-2,90	dB	-3,32	1550	-18,01	dB	-3,44
1	14	2009.Apr.01	14:16:33	1310	-8,07	dB	-3,32	1550	-19,53	dB	-3,44
1	15	2009.Apr.01	14:17:40	1310	-16,71	dB	-3,32	1550	-24,14	dB	-3,44
1	16	2009.Apr.01	14:18:14	1310	-21,93	dB	-3,32	1550	-27,01	dB	-3,44
1	17	2009.Apr.01	14:19:07	1310	-33,20	dB	-3,32	1550	-27,58	dB	-3,44
2	1	2009.Apr.01	14:23:50	1310	0,00	dB	-3,34	1550	-0,01	dB	-3,44
2	2	2009.Apr.01	14:24:12	1310	0,00	dB	-3,34	1550	-0,03	dB	-3,44
2	3	2009.Apr.01	14:24:39	1310	0,00	dB	-3,34	1550	-0,02	dB	-3,44
2	4	2009.Apr.01	14:25:00	1310	0,00	dB	-3,34	1550	-0,13	dB	-3,44
2	5	2009.Apr.01	14:25:23	1310	-0,01	dB	-3,34	1550	-0,13	dB	-3,44
2	6	2009.Apr.01	14:25:44	1310	-0,01	dB	-3,34	1550	-0,82	dB	-3,44
2	7	2009.Apr.01	14:26:00	1310	-0,04	dB	-3,34	1550	-1,20	dB	-3,44
2	8	2009.Apr.01	14:26:16	1310	-0,09	dB	-3,34	1550	-1,73	dB	-3,44
2	9	2009.Apr.01	14:26:36	1310	-0,33	dB	-3,34	1550	-2,02	dB	-3,44
2	10	2009.Apr.01	14:26:52	1310	-0,36	dB	-3,34	1550	-2,86	dB	-3,44
2	11	2009.Apr.01	14:27:04	1310	-0,74	dB	-3,34	1550	-3,61	dB	-3,44
2	12	2009.Apr.01	14:27:23	1310	-1,65	dB	-3,34	1550	-4,65	dB	-3,44
2	13	2009.Apr.01	14:27:39	1310	-1,17	dB	-3,34	1550	-14,40	dB	-3,44
2	14	2009.Apr.01	14:27:57	1310	-2,51	dB	-3,34	1550	-16,01	dB	-3,44
2	15	2009.Apr.01	14:28:11	1310	-6,04	dB	-3,34	1550	-18,67	dB	-3,44
2	16	2009.Apr.01	14:28:23	1310	-10,47	dB	-3,34	1550	-21,89	dB	-3,44
3	1	2009.Apr.01	14:33:53	1310	0,00	dB	-3,36	1550	0,00	dB	-3,42
3	2	2009.Apr.01	14:34:03	1310	-0,01	dB	-3,36	1550	-0,01	dB	-3,42
3	3	2009.Apr.01	14:34:10	1310	-0,01	dB	-3,36	1550	-0,03	dB	-3,42
3	4	2009.Apr.01	14:34:18	1310	-0,01	dB	-3,36	1550	-0,14	dB	-3,42
3	5	2009.Apr.01	14:34:31	1310	-0,01	dB	-3,36	1550	-0,49	dB	-3,42
3	6	2009.Apr.01	14:34:40	1310	-0,02	dB	-3,36	1550	-0,55	dB	-3,42
3	7	2009.Apr.01	14:34:49	1310	-0,04	dB	-3,36	1550	-1,07	dB	-3,42
3	8	2009.Apr.01	14:34:58	1310	-0,08	dB	-3,36	1550	-1,24	dB	-3,42
3	9	2009.Apr.01	14:35:10	1310	-0,14	dB	-3,36	1550	-1,60	dB	-3,42
3	10	2009.Apr.01	14:35:30	1310	-0,42	dB	-3,36	1550	-3,75	dB	-3,42
3	11	2009.Apr.01	14:35:39	1310	-0,70	dB	-3,36	1550	-5,68	dB	-3,42
3	12	2009.Apr.01	14:36:05	1310	-1,22	dB	-3,36	1550	-8,01	dB	-3,42
3	13	2009.Apr.01	14:36:31	1310	-3,78	dB	-3,36	1550	-21,64	dB	-3,42
3	14	2009.Apr.01	14:36:40	1310	-7,88	dB	-3,36	1550	-27,68	dB	-3,42
3	15	2009.Apr.01	14:37:05	1310	-10,79	dB	-3,36	1550	-32,36	dB	-3,42

Abbildung 3.5 – Group 1 = Versuch 3.3; Group 2 = Versuch 3.1; Group 3 = Versuch 3.2

4) Glossar:

Akzeptanzwinkel	Der maximale Einfallswinkel, der unter dem Licht auf einen Lichtleiter fallen darf, um in diesem noch durch Totalreflexionen weitergeleitet werden zu können, heißt Akzeptanzwinkel.
Brechungsindexzahl	Der Faktor, um den die Lichtgeschwindigkeit in einem optischen Medium (z.B. Glas) kleiner ist als im Vakuum.
Biegeradius	Kleinster Radius, um den eine Faser ohne Zusatzdämpfung gebogen werden darf.
Dämpfung	Verringerung der optischen Signalleistung durch Störeinflüsse wie Verunreinigung, Streuung und Steckverbindungen. Die Dämpfung in Lichtwellenleitern ist auch von der Wellenlänge und der Leitungslänge abhängig.
Multimodefaser	LWL- Faser bei der mehrere (bis zu Hundert) Moden ausbreitungsfähig sind
Macrobendingeffekt	Je höher die Wellenlänge umso mehr verteilt sich die Lichtleistung bis in den Fasermantel. Biegt man die Faser, wird nicht mehr die gesamte im Mantel geführte Lichtenergie in den Kern zurückreflektiert und strahlt aus der Faser heraus. Die Folge ist eine erhöhte Dämpfung.
Moden	Bezeichnen die Wege, denen das Licht entlang der Glasfaser folgen kann. Vereinfachend können Moden auch als Lichtstrahlen betrachtet werden.
Numerische Apertur	Beschreibt den Zusammenhang der Brechzahlen von dem optisch dichteren Medium = n_1 und optisch dünneren Medium = n_2 .
Singlemodefaser	LWL, dessen Kerndurchmesser ist gegenüber der Wellenlänge des Lichts so klein, dass nur ein Modus (Moden) ausbreitungsfähig ist.
Totalreflexion	Wenn das Licht am Übergang zweier Medien nicht gebrochen sondern komplett reflektiert wird.

5) Quellen:

Abbildungsnachweise:

Abbildung 1.1 → http://www.kein-ding-ohne-ing.de/typo3temp/GB/Verkehr_3_01_d9e39c6f55.jpg

Abbildung 1.2 → http://www.lexi-tv.de/pix/Textbild/4187_20060914164017.jpg

Abbildung 2.1 → [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Interne_Reflexion_\(Schema\).svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Interne_Reflexion_(Schema).svg)

Abbildung 2.2 → FVT Koblenz | TR Kom-Netz WSV, Teil IV, Abschnitt 3.1 | Bild 3.2 Lichtführung im Lichtwellenleiter

Abbildung 3.7 → http://www.wolfkabeltechnik.de/uploads/media/PB_44_Produktbeschreibung.pdf

Abbildung 3.8 → http://www.wolfkabeltechnik.de/uploads/media/PB_44_Produktbeschreibung.pdf

Glossarnachweise:

→ Helukabel.de

→ Ksi.at

→ Telkopedia.de

Weitere Quellen:

Internetseiten: → Wikipedia.org

→ Helukabel.de

→ Ksi.at

→ Telkopedia.de

Bücher: → Lichtwellenleiterkabel von G. Mahlke/P. Gössing (5.Auflage 1998)

→ Lichtwellenleiter-Technik von Dieter Eberlein (5.Auflage 2003)

→ DWDM, SDH & Co. von Roland Kiefer/Peter Winterling (2.Auflage 2002)

→ Glasfasern von Fedor Mitschke (1.Auflage 2005)

Andere Medien: → FVT Koblenz Technische Richtlinie „TR Kom-Netz WSV“