
Aufbau von faserbasierten Interferometern für die Quantenkryptografie

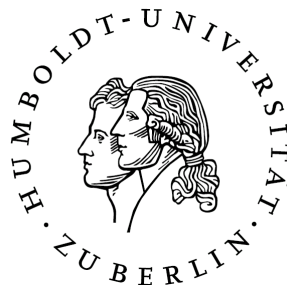
- Gehäuse, Phasenstabilisierung, Fasereinbau -

Masterarbeit
im Studiengang Elektrotechnik und
Informationstechnik
Vertiefungsrichtung Photonik

an der



in Kooperation mit der



vorgelegt von

Björnstjerne Zindler

geboren am 13. November 1966 in Görlitz

eingereicht am 21. November 2011

Erstgutachter: Herr Professor Dr. A. Richter
Zweitgutachter: Herr Professor Dr. O. Benson

Meiner Mutter gewidmet

*03. Juli 1940

+22. September 2010

Biegung einer Faser und die dabei auftretende Leistungsdämpfung

- Konditionen:

$\lambda = 1550\text{nm}$ für Monomode- Standardfaser SMF-28-FC-2 mit manueller Ablesung

- Messwerte:

| # | d[mm] | $U_{\text{Messung}}[\text{V}]$ | $U_{\text{Geglättet}}[\text{V}]$ | $U_{\text{Normiert}}[-]$ | $U_{\text{Regressiert}}[-]$ |
|----|-------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | 40 | 4,800 | 4,800 | 1,000 | 0,999 |
| 2 | 30 | 4,800 | 4,800 | 1,000 | 0,999 |
| 3 | 20 | 4,800 | 4,800 | 1,000 | 0,999 |
| 4 | 15 | 4,760 | 4,760 | 0,992 | 0,996 |
| 5 | 14 | 4,720 | 4,720 | 0,983 | 0,981 |
| 6 | 13 | 4,520 | 4,508 | 0,939 | 0,915 |
| 7 | 12 | 3,400 | 3,358 | 0,700 | 0,715 |
| 8 | 11 | 1,580 | 2,217 | 0,462 | 0,416 |
| 9 | 10 | 1,220 | 1,240 | 0,258 | 0,199 |
| 10 | 9 | 0,600 | 0,607 | 0,126 | 0,089 |
| 11 | 8 | 0,100 | 0,100 | 0,021 | 0,039 |

- Funktionsermittlung durch exponentiale Regression über eine Summenfunktion mit einem Freiheitsgrad.

Mit sinkenden Werten von „d“ steigt die Dämpfung in der Faser, daher kann dieser Verlust beschrieben werden durch eine einfache Summenfunktion:

$$U_{\text{Normiert}} = \frac{a \cdot d}{\sqrt{1 + (a \cdot d)^2}}$$

⇒

$$a = \frac{U_{\text{Normiert}}}{d \cdot \sqrt{1 - U_{\text{Normiert}}^2}}$$

⇒

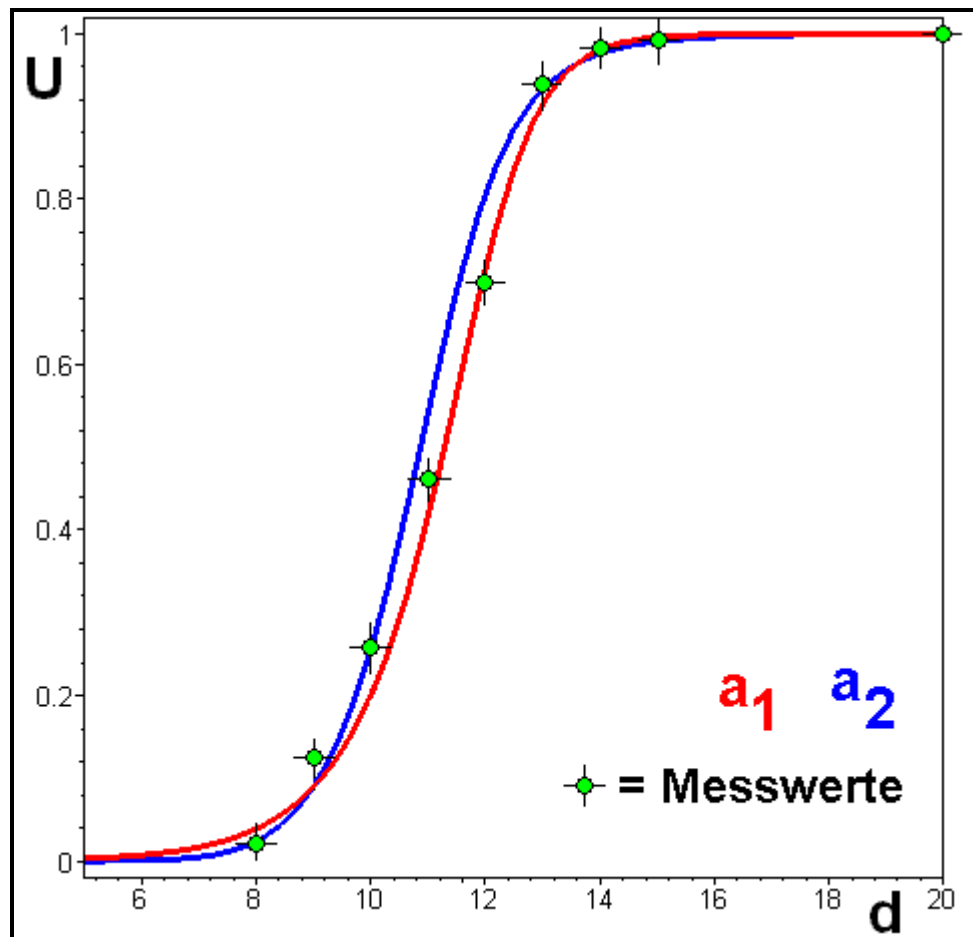
| # | d[mm] | $a_{\text{Normiert}}[-]$ | $a_{1;\text{Regressiert}}[-]$ | $a_{2;\text{Regressiert}}[-]$ |
|---|-------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 40 | ∞ | ∞ | 18,839 |
| 2 | 30 | ∞ | 34 380 | 9,073 |
| 3 | 20 | ∞ | 26,362 | 2,106 |
| 4 | 15 | 0,524 | 0,730 | 0,489 |

| | | | | |
|----|----|---------|---------|---------|
| 5 | 14 | 0,382 | 0,356 | 0,322 |
| 6 | 13 | 0,210 | 0,174 | 0,199 |
| 7 | 12 | 0,0817 | 0,0849 | 0,114 |
| 8 | 11 | 0,0474 | 0,0414 | 0,0585 |
| 9 | 10 | 0,0267 | 0,0202 | 0,0264 |
| 10 | 9 | 0,0141 | 0,00987 | 0,00996 |
| 11 | 8 | 0,00263 | 0,00481 | 0,00295 |

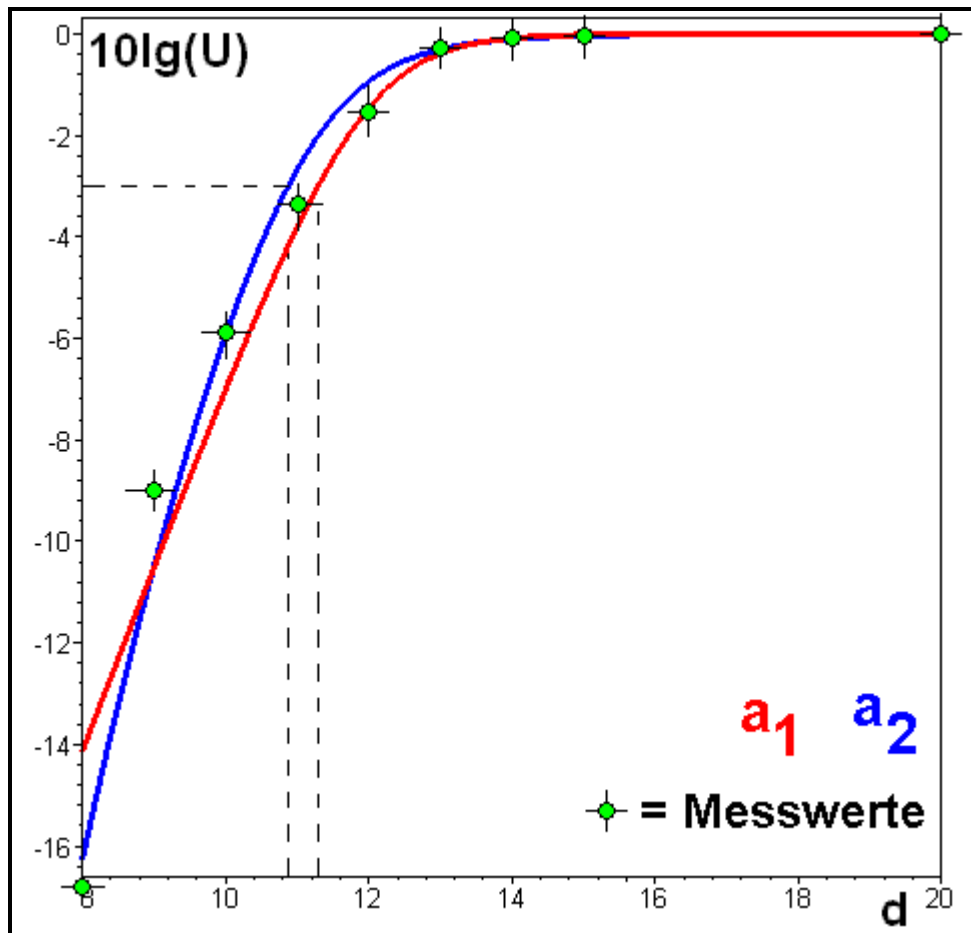
Der Koeffizient „a“ ist berechnet worden durch regressierte Exponentialfunktion:

$$a_1 = 15,5 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0,717733 \cdot d} \quad a_2 = 168,3146 \cdot e^{-\frac{87,6174}{d}}$$

Setzt man „a₁“ und „a₂“ in „U_{Normiert}“ ein ergibt sich folgendes Schaubild:



In der Einheit [db] angegeben, ergibt sich somit die Dämpfung pro Windung bei „d“ [mm].



Zusätzlich ist noch die 3[db]- Grenze eingezeichnet. Sie liegt etwa bei einem Biegeradius von 11[mm].

Unter Nutzung von „a1“ ergibt sich somit folgende Berechnungsgrundlage, wobei „N“ die Windungsanzahl ist:

$$U[db] = N \cdot 10 \cdot \lg \frac{15,5 \cdot 10^{-6} \cdot d \cdot e^{0,717733 \cdot d}}{\sqrt{1 + (15,5 \cdot 10^{-6} \cdot d \cdot e^{0,717733 \cdot d})^2}}$$

⇒ bei N = 1

| # | d[mm] | U _{Regressiert} [db] | U _{Normiert} [db] |
|---|-------|-------------------------------|----------------------------|
| 1 | 40 | - 0,000 | - 0,000 |
| 2 | 30 | - 0,000 | - 0,000 |
| 3 | 20 | - 0,000 | - 0,000 |
| 4 | 15 | - 0,018 | - 0,035 |
| 5 | 14 | - 0,085 | - 0,075 |
| 6 | 13 | - 0,384 | - 0,273 |
| 7 | 12 | - 1,456 | - 1,549 |
| 8 | 11 | - 3,808 | - 3,354 |

| | | | |
|----|----|----------|----------|
| 9 | 10 | - 7,014 | - 5,884 |
| 10 | 9 | - 10,518 | - 8,996 |
| 11 | 8 | - 14,132 | - 16,778 |

Zwischen Dämpfungswerten 0 bis 3[db] sind nutzbare Werte der Regression unter Verwendung von „a₁“ zu erwarten, unterhalb von 3[db] ist „a₂“ zu nutzen.

- Schlussfolgerung:

Ab Biegeradien größer 30mm sind selbst bei hohen Windungsraten nur sehr kleine Dämpfungen zu erwarten.

Beispiel:

d = 30mm

N = 1 000

$$U[\text{db}] = - 0,000\,001\,3$$