

Mikrowellenoptik

Marcel Köpke & Axel Müller

03.05.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Bestimmung der Wellenlänge	3
2	Intensitätsmessung	5
3	Fresnel-Beugung	7
4	Einzel- und Mehrfachspalte	8
4.1	Einzelspalt	8
4.2	Doppelspalt	9
4.3	Gitter	9
5	Interferometer	11
6	Polarisation	13
6.1	Lineare Polarisation	13
6.2	$\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen	13
7	Absorptionsvermögen	15
8	Tunneleffekt	16

1 Bestimmung der Wellenlänge

Bei fester Position des Empfangsdipols variierten wir die Position der Metallplatte so, dass ein Minimum registriert wurde. Dadurch konnten wir sichergehen, dass wir zwischen Sender und Metallplatte eine stehende Welle vorliegen hatten. Daraufhin bestimmten wir die Knotenpunkte der stehenden Welle zwischen Sender und Metallplatte mit Hilfe des Empfangsdipols (Verschieben).

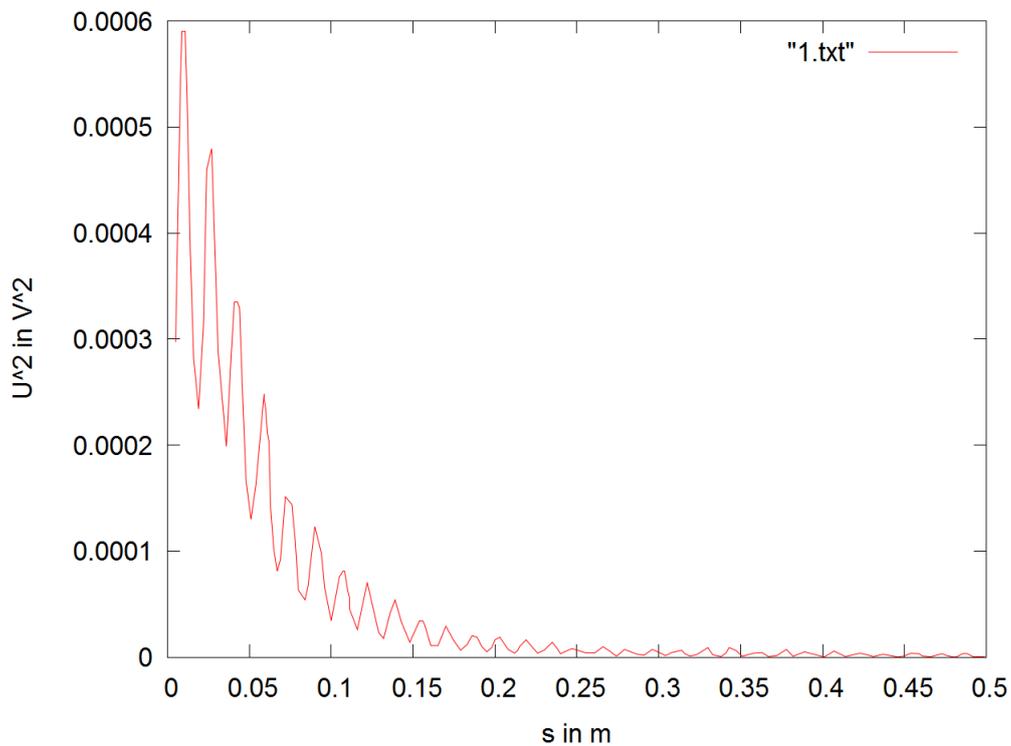


Abbildung 1.1: Messkurve

Das Schaubild zeigt das Spannungsquadrat über die zurückgelegte Messstrecke. Die ersten Minima liegen bei:

Position der Minima:[cm]	1,9	3,6	5,1	6,7	8,4	10,0	11,6	13,2	14,8
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Tabelle 1.1: Messwerte

Aus den Abständen der Minima ergibt sich die halbe Wellenlänge der Mikrowellenstrahlung. Damit ergeben sich folgende Werte für λ :

$\lambda[\text{cm}]$	3,4	3,0	3,2	3,4	3,2	3,2	3,2	3,2
----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabelle 1.2: Wellenlänge

Gemittelt ergibt sich die Wellenlänge:

$$\lambda = 3,225\text{cm}$$

2 Intensitätsmessung

Mit dem Hornempfänger wurde die Abstandsabhängigkeit der Intensität¹ der Welle gemessen. In Annahme einer $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit fanden wir folgenden Fit:

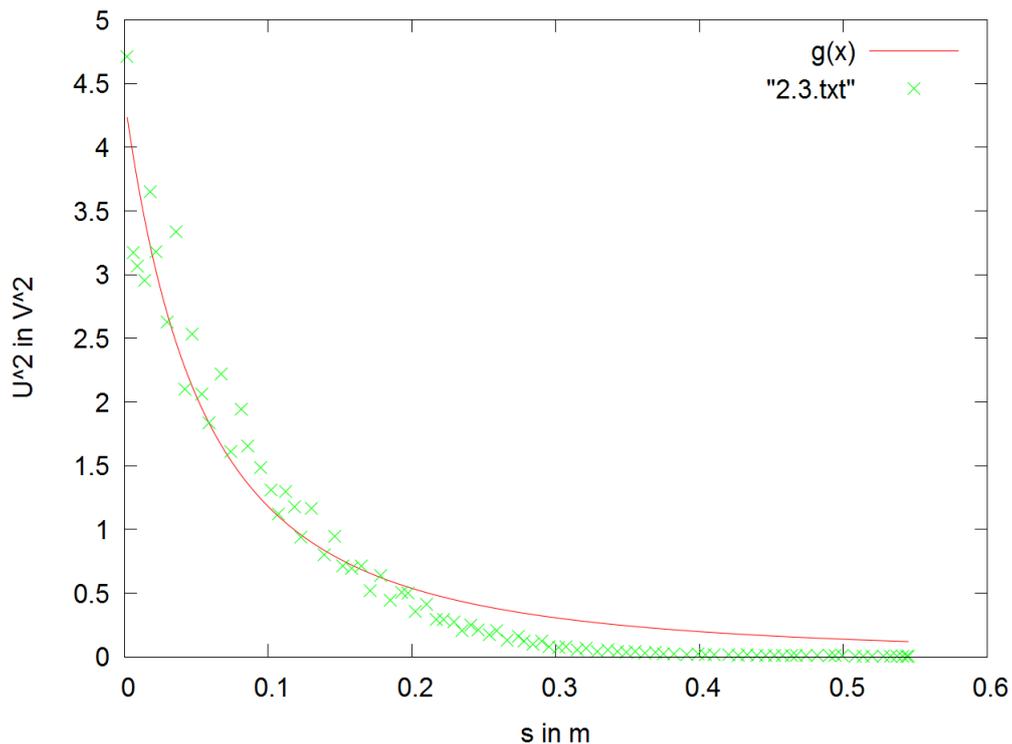


Abbildung 2.1: ohne Dämpfung

Man sieht gut, dass die Anpassung der Kurve im hinteren Bereich von den Messwerten abweicht. Durch die zusätzliche Annahme einer exponentiellen Dämpfung, also in der Form $f(x) = a \cdot e^{-b(r+c)} \frac{1}{(r+c)^2}$ ergab sich folgender Fit (der Parameter c ergibt sich daraus, dass wir keine absoluten Abstände gemessen haben).

¹im Folgenden ist mit Intensität immer eine zur Intensität proportionale Größe gemeint

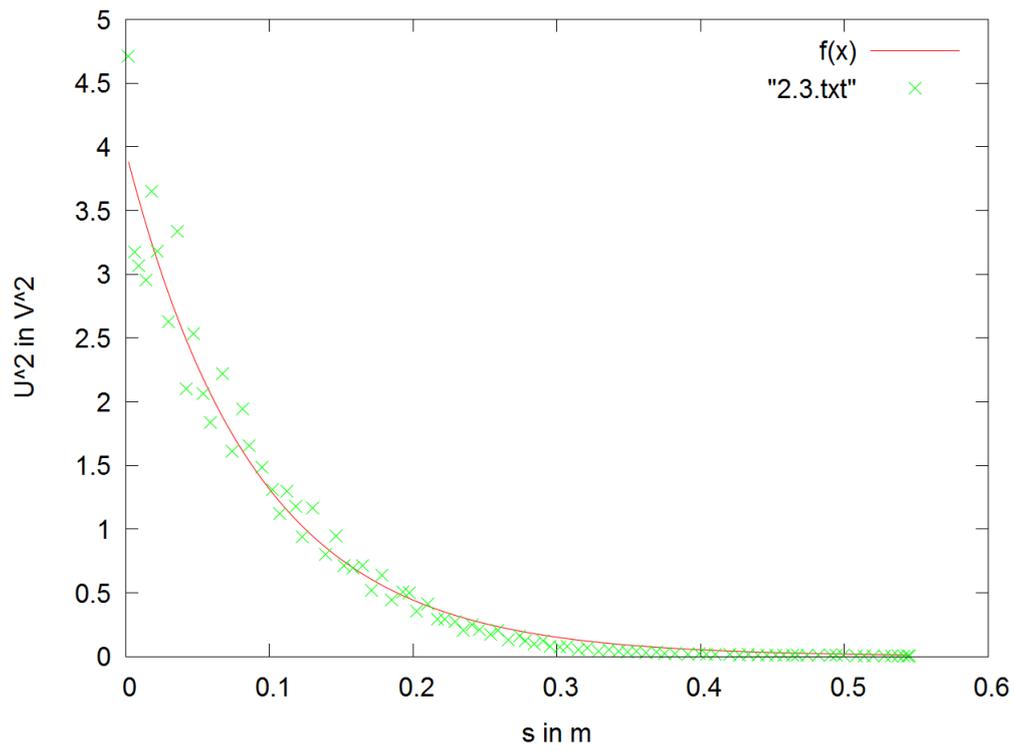


Abbildung 2.2: mit Dämpfung

Durch Berücksichtigung von Dämpfungseffekten kann das Verhalten der Intensität noch genauer erklärt werden. Dies ist sinnvoll, da wir nicht im Vakuum gearbeitet haben.

3 Fresnel-Beugung

Am Einzelspalt untersuchten wir das Beugungsverhalten in der Nahzone. Wir benutzten ein Linsensystem um die Welle vor dem Spalt zu parallelisieren und danach wieder auf den Empfänger zu fokussieren. Wir erhielten folgendes Beugungsbild:

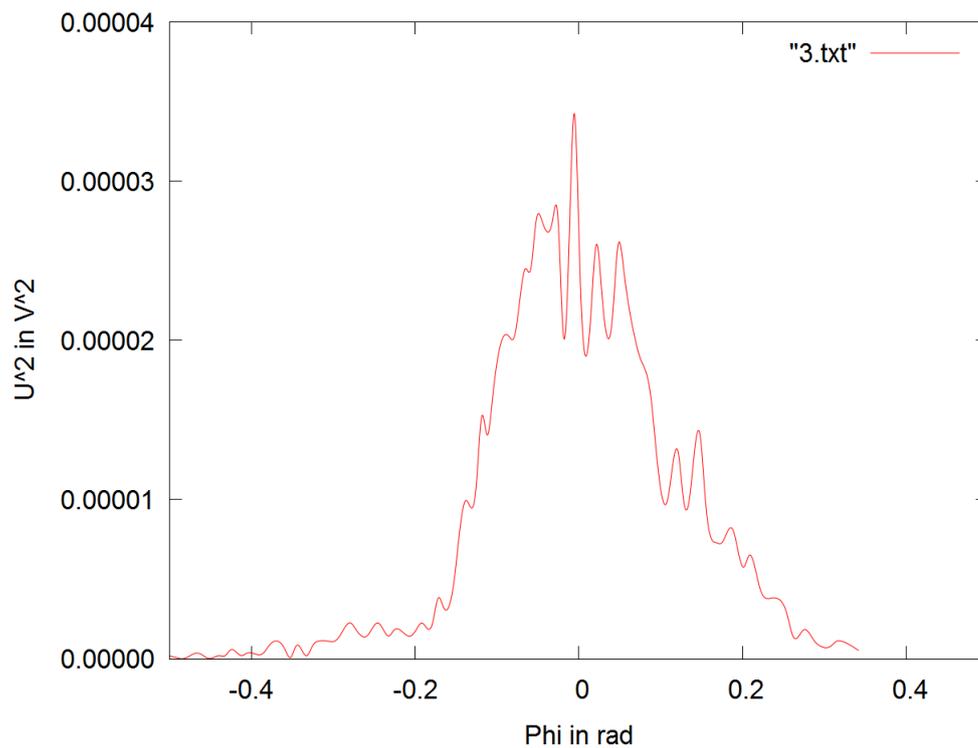


Abbildung 3.1: Fresnel-Beugung

Im Maximumsbereich kann man die für die Fresnel-Beugung charakteristische Kammform deutlich erkennen.

4 Einzel- und Mehrfachspalte

4.1 Einzelspalt

Für den Versuch haben wir den kleinsten zur Verfügung stehenden Einzelspalt mit einer Spaltbreite $b = 3,8\text{cm}$ benutzt. Beim Vergleich zwischen theoretischen und experimentellen Werten fällt vor allem auf, dass das Beugungsbild auf der x-Achse verschoben ist. Dies resultiert aus der relativ ungenauen Justierung der Messapparatur. Durch eine Verschiebung konnten die Minima zur Deckung gebracht werden. Mit den in der Vorbereitung erwähnten Formeln führten wir nun einen "fit-by-eye" durch. Das Ergebnis ist im Folgenden zu sehen:

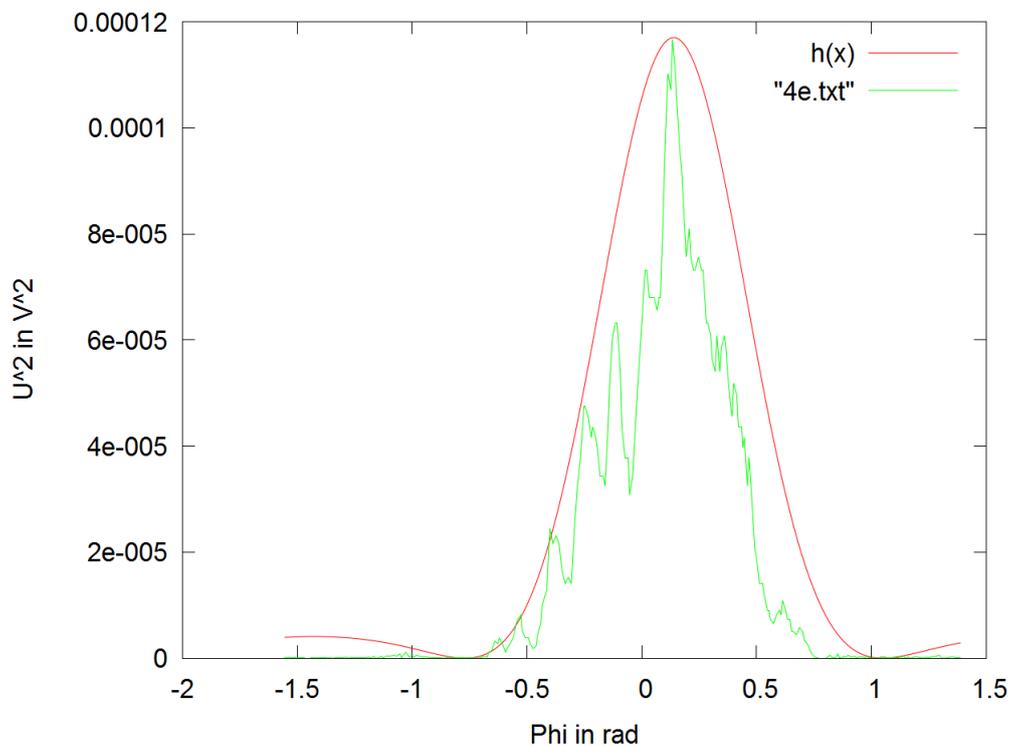


Abbildung 4.1: Einzelspalt

Durch den Fit ergab sich eine Wellenlänge von:

$$\lambda = 0,03m$$

4.2 Doppelspalt

Wir verwendeten den Doppelspalt mit den Maßen: $b = 3,8\text{cm}$ und $g = 7,6\text{cm}$. Ein "fit-by-eye" für λ ergab nun:

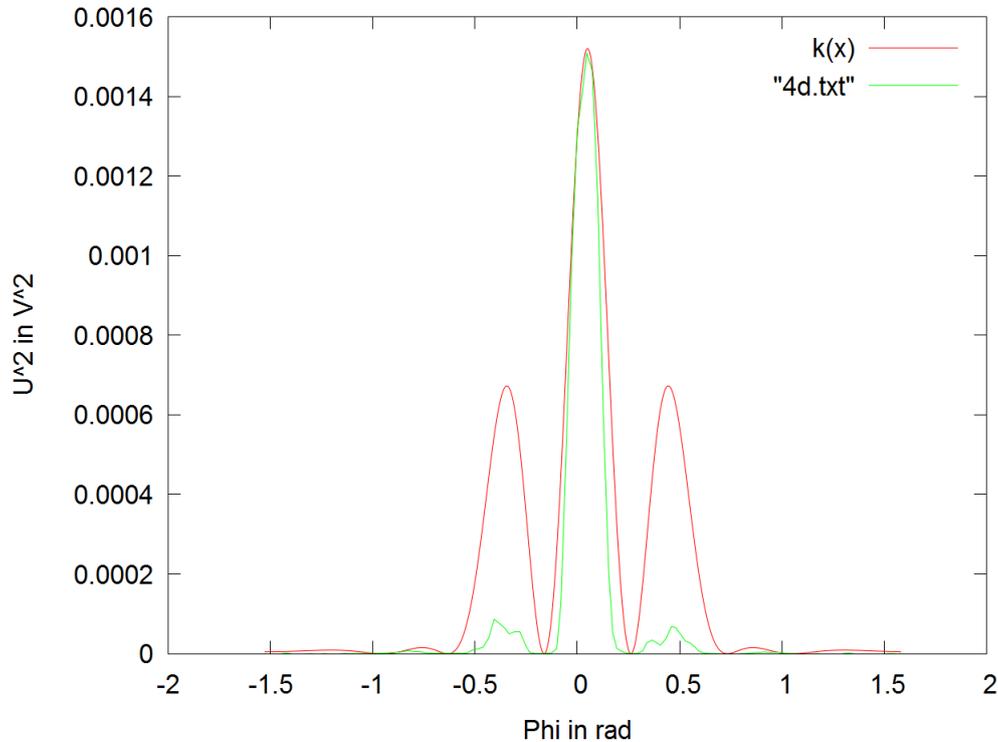


Abbildung 4.2: Doppelspalt

Um die Minima zur Deckung zu bringen war eine Wellenlänge von

$$\lambda = 0,032\text{m}$$

erforderlich. Auffällig ist, dass die Nebenmaxima in der Realität deutlich schwächer ausgeprägt sind als theoretisch vorhergesagt. Dies zeigt die Idealisierung der Fraunhofer-Beugung. Die Spaltbreite war im Zentimeterbereich, der Abstand zum Empfänger jedoch nur in der Größenordnung von einem Meter. Dies entspricht einem Unterschied von 10^{-2} . Bei Interferenz-Versuchen mit Licht werden Spaltbreiten von wenigen Mikrometern und ähnlichen Schirmabständen verwendet. In unserem Fall kann also die Spaltbreite also nicht als klein gegenüber dem Schirmabstand angesehen werden.

4.3 Gitter

Hier verwendeten wir den 5-Fachspalt mit $b = 3,2\text{cm}$ und $g = 6,4\text{cm}$. Dies ergab folgendes Interferenzmuster:

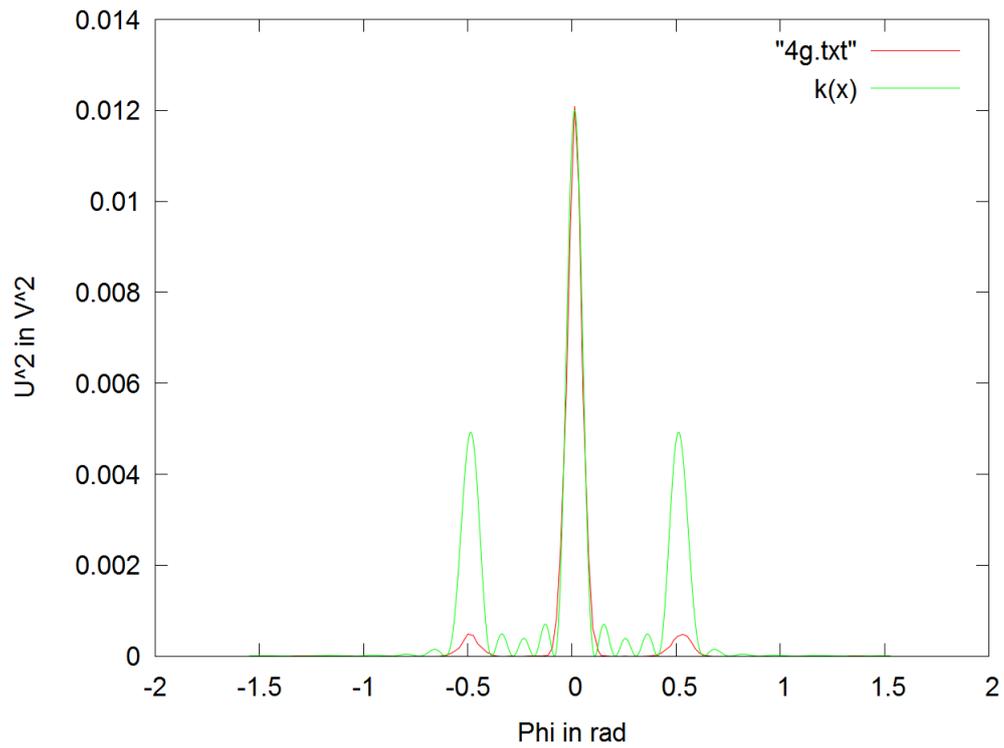


Abbildung 4.3: Gitter

Für den “fit-by-eye” verwendeten wir $\lambda = 0,031m$. Für die Intensität der Nebenmaxima gilt die gleiche Argumentation wie beim Doppelspalt.

Im Mittel bestätigen wir also den oben ermittelten Wert.

5 Interferometer

Wir bauten die planparallelen Plexiglasplatten auf und maßen die Intensität in Abhängigkeit der beiden Platten zueinander. Hierfür erhielten wir folgende Ergebnisse:

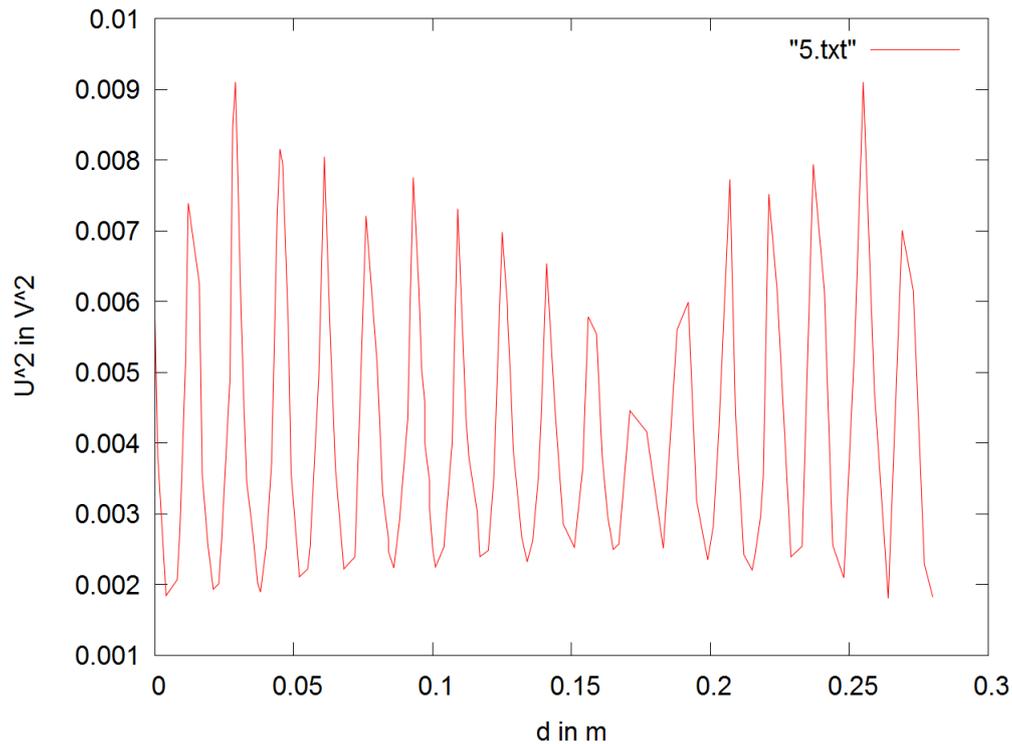


Abbildung 5.1: Messergebnisse

In der Abbildung sind abwechselnden Maxima und Minima deutlich zu erkennen. Im Versuch maßen wir nicht die absoluten Plattenabstände, dass dies jedoch kein Problem darstellt zeigt folgende Überlegung:

Nach Vorbereitung gilt für senkrechten Einfall:

$$\Delta s = 2d_m$$

wobei d_m der zum m -ten Punkt gehörige Abstand der Platten ist. Minima stellen sich ein für:

$$\Delta s = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda = 2d_m$$

Für $m, k \in \mathbb{N}$. Betrachten wir zwei verschiedene Minima so folgt:

$$\begin{aligned}
 2d_m &= \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda \\
 2d_{m+k} &= \left(m + k - \frac{1}{2}\right)\lambda \\
 \Rightarrow \frac{2(d_{m+k} - d_m)}{k} &= \lambda \\
 \Leftrightarrow \frac{2\Delta d}{k} &= \lambda
 \end{aligned}$$

Es zeigt sich also, dass nur der relative Abstand der Minima ausschlaggebend ist!

Wir erhielten folgende Messwerte für die Minima:

d [cm]	0,4	2,1	3,8	5,2	6,8	8,6	10,1
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Tabelle 5.1: Messwerte

Mit obiger Formel berechnen wir 6 Werte für λ :

λ [cm]	3,4	3,4	2,8	3,2	3,6	3,0
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabelle 5.2: Wellenlänge

Der Mittelwert hierüber ergibt:

$$\lambda = 3,23\text{cm}$$

6 Polarisation

6.1 Lineare Polarisation

Zunächst drehen wir den Empfänger um die Bewegungsrichtung der Mikrowellen. Dafür ergaben sich folgende Messwerte:

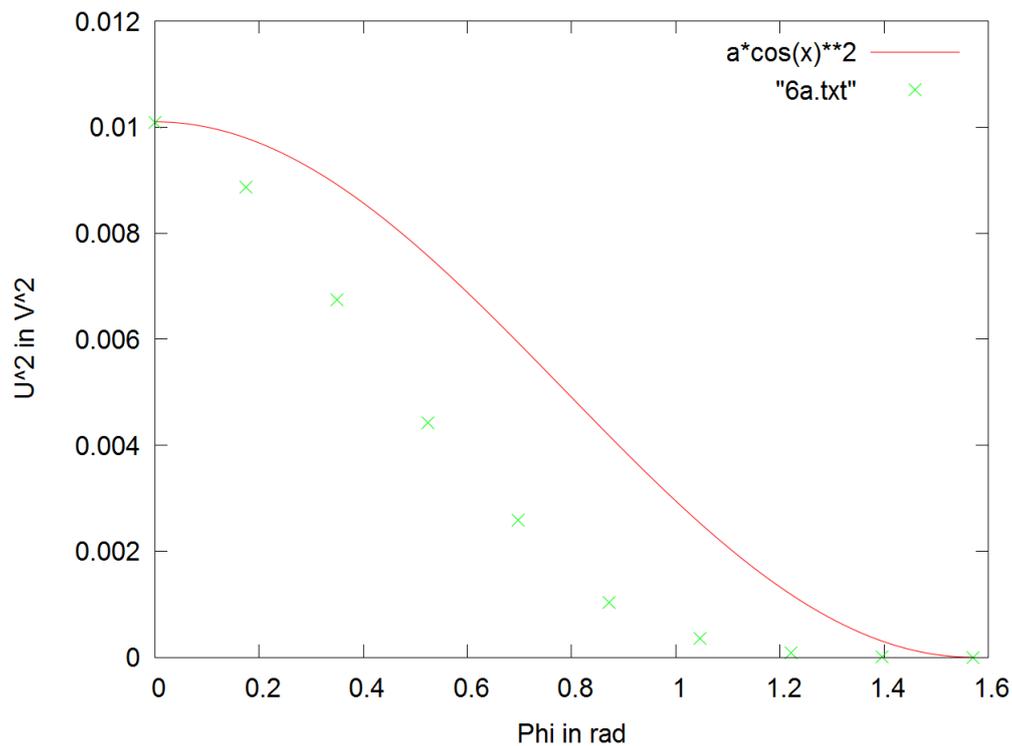


Abbildung 6.1: Messwerte

Aus trigonometrischen Überlegungen sollte sich für die Intensität eine Kurve in proportional zu $\cos^2(\phi)$ ergeben. Wie sich zeigt, ist dies nicht wirklich der Fall. Grund hierfür ist vermutlich die nicht linear polarisierte Abstrahlung des Senders.

6.2 $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen

Nun brachten wir ein $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen unter dem Winkel von 45° in den Strahlengang und maßen die Intensität in Abhängigkeit des Winkels. Zu erwarten war eine zirkulare Polari-

sation am Empfänger und somit keine Winkelabhängigkeit. Jedoch erhielten wir folgende Ergebnisse:

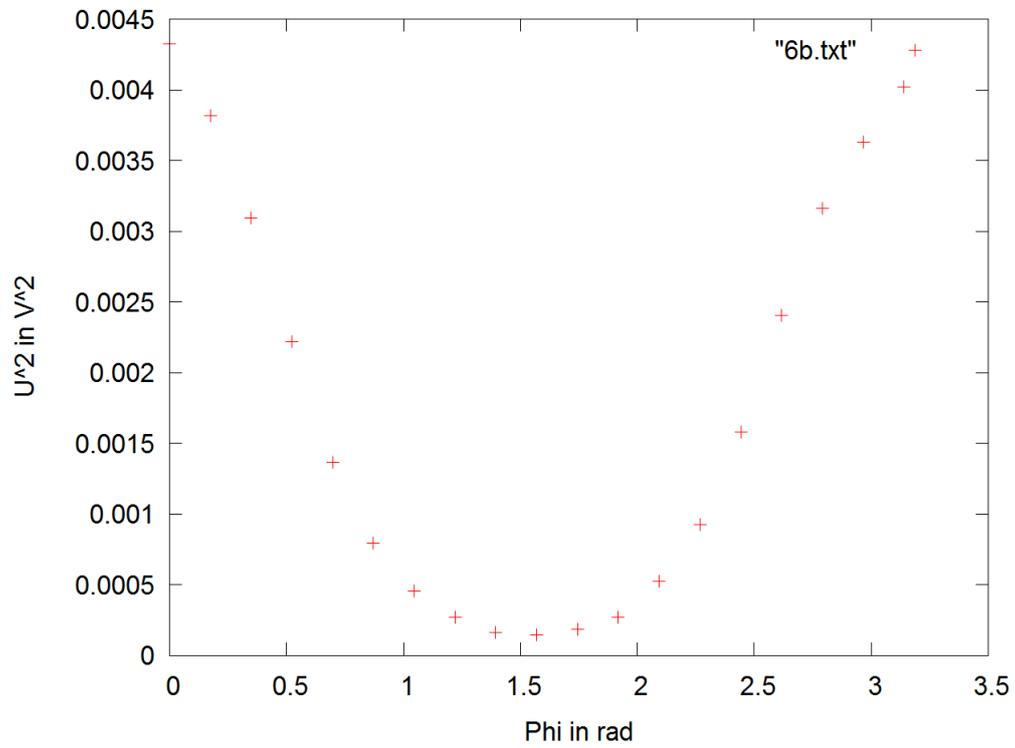


Abbildung 6.2: Messwerte

Auch hier zeigt sich eine nicht erwartete Winkelabhängigkeit. Dies liegt an der starken Dämpfung der Welle in einer Komponente am $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen.

7 Absorptionsvermögen

Wir ermittelten für drei verschiedene Materialien das Absorptionsvermögen α :

	U_m^2 mit Medium [V^2]	U_o^2 ohne Medium [V^2]	$\alpha = \frac{U_m}{U_o}$
Glas	0,00073	0,00978	0,07464
Plexiglas	0,00322	0,00978	0,32924
Paraffin	0,04755	0,00978	4,86196

Tabelle 7.1: Messergebnisse

Der Versuch kann nur phänomenologisch betrachtet werden. Vor allem der Wert für das Paraffin ist offensichtlich falsch. Dies liegt daran, dass wir nur eine Paraffin-Linse verwenden konnten, die die Strahlen bündelte. Eine Schlussfolgerung kann dennoch getroffen werden, nämlich dass Glas Mikrowellen stärker absorbiert als Plexiglas.

8 Tunneleffekt

Für verschiedene Luftspaltdicken erhielten wir folgende Intensitätsverteilung:

s [m]	$U^2[V^2]$
0,031	0,0000002601
0,016	0,0001004004
0,008	0,0035319249
0,004	0,0209351961
0,002	0,0473976441
0,001	0,0590344209

Tabelle 8.1: Messergebnisse

Man erwartet eine exponentielle Abnahme der Form $I(s) = a \cdot e^{-bx}$. Deshalb trägt man $\ln(I)$ über s auf und erhält damit die Geradengleichung:

$$\ln(I) = -bx + \ln(a)$$

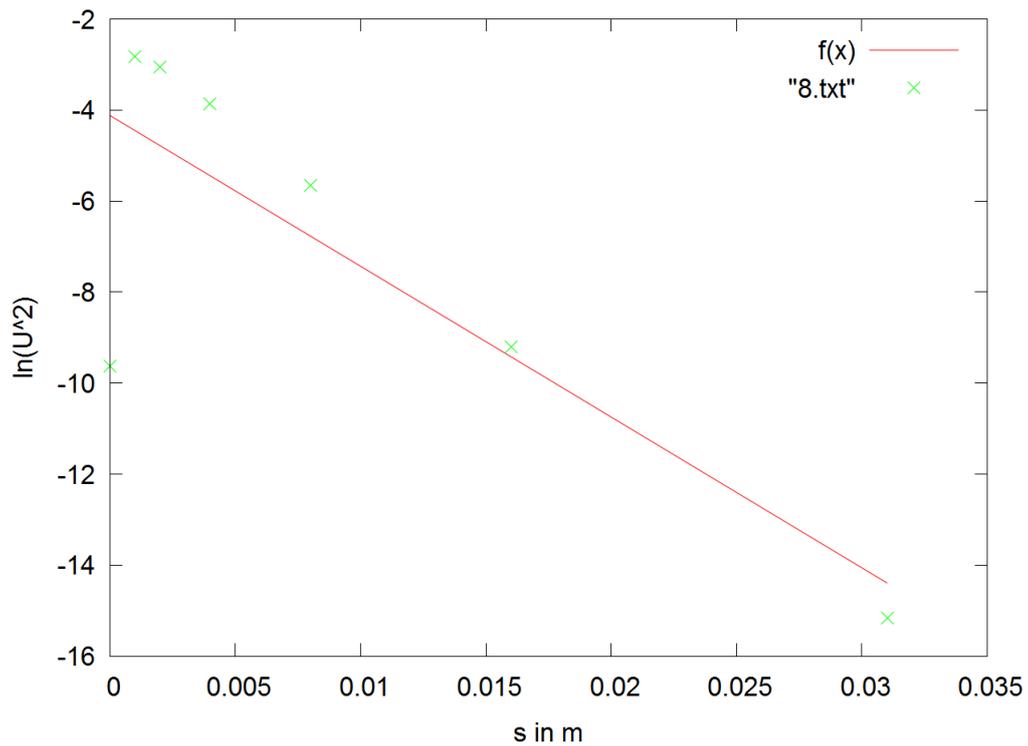


Abbildung 8.1: Ausgleichgerade

Für die Steigung b erhalten wir:

$$b = 417,401 \frac{1}{m}$$

Damit kann nun die Reichweite R berechnet werden. Dazu betrachten wir den Weg s nachdem $I(s)$ um den e -ten Teil abgefallen ist:

$$\frac{1}{e}a = ae^{-bR}$$

Daraus folgt:

$$R = \frac{1}{b} = 2,396cm$$