



SS/WS 20.12./.....

Praktikum: (P1/P2) (Mo/Di/Mi/Do) Gruppe-Nr: ...Do-27

Name: Wächter Vorname: Benjamin

Name: Lipp Vorname: Benjamin

Versuch: Mikrowellenoptik (mit/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Jan Fischer Durchgeführt am: 31.5.12

Abgabe am: 14.06.12

Rückgabe am:

Begründung:

2. Abgabe am:

Ergebnis: (+ / 0 / -)

Fehlerrechnung: ja / nein

Datum: 19.06.2012

Handzeichen:

Bemerkungen:

Ausgezeichnetes Protokoll!



Ziel dieses Versuches ist es, zu zeigen, dass man viele bekannte Phänomene aus der Optik wie Interferenz und Beugung auch mit Mikrowellen beobachten kann. Im Gegensatz zu Licht liegen die beobachtbaren Phänomene allerdings im Bereich von Zentimetern, wodurch manche Effekte wie der optische Tunneleffekt erst gut sichtbar gemacht werden können. Die entstehenden Felder können einfach mit Hilfe einer Sonde ausgemessen werden. Die Transversalwelleneigenschaften von Mikrowellen werden damit eindrucksvoll demonstriert.

Gleichzeitig sollen in diesem Versuch Methoden moderner Datenerfassung eingesetzt und das Auswerten größerer Datenmengen mit Hilfe von Tabellenkalkulationen geübt werden. Sie benötigen einen USB-Stick zur Übernahme Ihrer Messdaten.

Details zum Aufbau, Funktionsweise des CASSY Messinterfaces, zu versuchsspezifischen Effekten und zur Auswertung finden Sie in der Hilfe zu diesem Versuch.

Aufgaben :

1 Bestimmen Sie die Wellenlänge der bei diesem Versuch benutzten Strahlung durch Ausmessen des Feldes einer stehenden Wellen vor einer Metallplatte. Messen Sie mit dem Empfangsdipol. Sein Haltestift soll senkrecht zur Strahlrichtung montiert sein. Extrapolieren Sie die Intensität-über-Ort-Auftragung bis zur Metalloberfläche.

2 Beobachten Sie das emittierte Signal mit Hilfe des Hornempfängers und CASSY. Schließen Sie den Hornempfänger an den Eingang B von CASSY an und beobachten Sie das Mikrowellensignal. Wie sieht die Signalform aus? Überlegen Sie sich, wie Sie eine intensitätsproportionale Größe messen können.

3 Justieren Sie den Aufbau zur Messung des Interferenzmusters und studieren Sie zunächst den Effekt der so genannten Fresnel-Beugung am Einzelspalt. Verwenden sie hierzu den Bewegungswandler von CASSY zusammen mit der Scheibe und dem Keilriemen. Messen Sie die Intensität in Abhängigkeit vom Winkel. Justieren Sie den Aufbau, um ein möglichst optimales Messergebnis für den Grenzfall der Fraunhofer'schen Beugung zu erhalten. Woran können Sie den Effekt der Fresnel-Beugung im Spektrum erkennen ?

4 Messen Sie das Spektrum eines Einzelspalts, eines Doppelspalts und eines Gitters mit Hilfe von CASSY. Vergleichen Sie in der Auswertung die gemessene mit der theoretisch vorhergesagten Kurve, die als freie Parameter die Gitterparameter und die (oben bereits grob bestimmte) Wellenlänge enthält. In einer „Anpassung per Auge“ können Sie nun die Wellenlänge variieren, bis die beste Übereinstimmung Ihrer gemessenen Kurve mit der berechneten erreicht wird, und so ebenfalls die Wellenlänge bestimmen.

5 Bauen Sie mit Hilfe zweier senkrecht zum Strahlengang montierter Plexiglasscheiben ein Interferometer auf. Messen Sie die Intensität in Abhängigkeit vom Plattenabstand mit Hilfe von CASSY und dem Bewegungswandler. Bestimmen Sie wieder mit Hilfe einer „Anpassung per Auge“ die Wellenlänge der verwendeten Mikrowellen.

6 Untersuchen Sie die Polarisation der Mikrowellenstrahlung a) ohne ein zusätzliches Element und b) mit einem $\lambda/4$ -Plättchen' im Strahlengang. Drehen Sie dazu den Hornempfänger um seine Achse und messen Sie die Intensität in Abhängigkeit von der Stellung. Das $\lambda/4$ -Plättchen' ist ein Metallstreifengitter, dessen Streifen unter 45° gegen die Polarisationsrichtung der einfallenden Strahlung ausgerichtet sind. Es erzeugt elliptische und zirkulare Polarisation. Das liegt daran, dass die Teilwelle mit E-Feld parallel zu den Metallstreifen viel stärker gedämpft wird als die andere. Diskutieren Sie das Zustandekommen der elliptischen Polarisation. Vergleichen Sie die gemessenen Daten mit den theoretisch erwarteten Kurven.

7 Vergleichen Sie bei Glas, bei Plexiglas und bei dem Paraffin der Linsen qualitativ das Absorptionsvermögen für Zentimeterwellen mit dem für sichtbares Licht (nur phänomenologisch, ohne Erklärung).

8 Messen Sie die Intensität I der Strahlung, die bei 'Totalreflexion' an der Hypotenuse eines Prismas noch in das optisch dünnere Medium eintritt ('optischer Tunneleffekt'), als Funktion des Abstandes x von der Hypotenuse. Ändern Sie den Abstand zweier hypotenusenparalleler Prismen und messen Sie hinter dem zweiten Prisma die Intensität des parallel versetzten Strahls mit dem Hornempfänger. Achten Sie auf senkrechten Einfall der Strahlung bei den Kathetenflächen. Tragen Sie $\ln(I)$ über x auf. Berechnen Sie die Steigung der Geraden und daraus die Reichweite R , nach der die Intensität um den Faktor e abgeschwächt ist. Vergleichen Sie R mit der Wellenlänge.

Zubehör:

- Gunn-Diode (ca.10 GHz), Netzgerät dazu
- Empfangsdipol mit Demodulator-Diode
- Hornempfänger mit Demodulator-Diode
- NF-Verstärker
- CASSY Messinterface mit Kabeln und Bewegungswandler
- PC zur Datenerfassung mit CASSY Lab Software
- optische Bank mit Schwenkteil und Winkelskala und diversen Reitern
- Drei Einfachspalte ($b=3,8$ cm; $b=7$ cm; $b=11$ cm)
- Zwei Doppelspalte ($b=7$ cm $g=10,5$ cm; $b=3,8$ cm $g=7,6$ cm)
- Dreifachspalt ($b=7$ cm $g=10,5$ cm)
- Vierfachspalt ($b=3,8$ cm $g=7,6$ cm)
- Fünffachspalt ($b=3,2$ cm $g=6,4$ cm)
- Metallplatte (34 cm x 34 cm)
- zwei Plexiglasplatten (30 cm x 30 cm)
- Plexiglastisch (55 cm x 205 cm)
- zwei Paraffinlinsen (ca. $f=29$ cm)
- zwei Zuckerprismen ($n(10\text{ Ghz})=1,5$)
- Glasplatte
- Metallstreifengitter ($\lambda/4$ -Plättchen') für 45° -Montage

Literatur:

Kapitel zur Wellenoptik in jedem Physiklehrbuch (Gerthsen, Tipler, Hecht ...)

Bergmann, Schäfer: Experimentalphysik, Bd.3

Meyer, Pottel: HF-Technik

Frieser: Mikrowellenmeßtechnik

Hollerbach: Staatsexamensarbeit 'Optische Versuche mit cm-Wellen'

CASSY-Manual:

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/allgemeines/Cassy-Handbuch.pdf>

Mikrowellenoptik
—
Versuchsvorbereitung

Benjamin Lipp
Benjamin Wächter
Gruppe Do-27
31. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	3
0.1	Erzeugung von Mikrowellen	3
0.2	Nachweis von Mikrowellen	3
1	Bestimmung der Wellenlänge durch Ausmessen stehender Wellen	3
2	Beobachten des Signals mit Cassy	3
3	Fresnel-Beugung	4
4	Interferenzbilder von Doppelspalt und Gitter	5
5	Interferometer	5
6	Polarisation	5
7	Absorptionsvermögen	6
8	Optischer Tunneleffekt	6
	Literatur	7

0 Einleitung

Mikrowellen haben Wellenlängen im Bereich von 1 mm bis 30 cm, in diesem Versuch wird eine Wellenlänge von ungefähr 3 cm verwendet. Diese Wellenlängen machen die Mikrowellen [sic!] einerseits besonders geeignet dafür, in Molekülen Schwingungen anzuregen, andererseits können optische Effekte wie Beugung und Interferenz sehr einfach beobachtet werden.

0.1 Erzeugung von Mikrowellen

Zur Erzeugung der Mikrowellen wird in diesem Versuch eine Gunn-Diode verwendet. Die Wellen entstehen durch hochfrequente Stromfluktuationen, die in speziellen Halbleitern entstehen, wenn eine hohe elektrische Gleichspannung an sie angelegt wird. Die Wellenlänge hängt dabei von der Länge des Halbleiters ab. Um den Wellen eine Vorzugsrichtung in ihrer Ausbreitung zu geben, wird ein Abstrahlhorn auf die Diode gesetzt.

0.2 Nachweis von Mikrowellen

Als Empfänger dient ein Dipol mit Diode. Die Diode richtet das empfangene Signal gleich.

1 Bestimmung der Wellenlänge durch Ausmessen stehender Wellen

Gegenüber des Senders wird eine Metallplatte senkrecht zur Ausbreitungsrichtung aufgestellt. Vor ihr bauen sich stehende Wellen auf. Mit dem Empfangsdipol ohne Horn werden die Stellen ermittelt, an denen sich Schwingungsknoten befinden. Ist eine gerade Anzahl n von Schwingungsknoten ausgehend von der Metallplatte erfasst worden und befindet sich der letzte erfasste Knoten an der Stelle x_n , so ergibt sich die Wellenlänge aus

$$\lambda = \frac{x_n}{\frac{1}{2}n}.$$

2 Beobachten des Signals mit Cassy

Das Signal wird mit dem Hornempfänger aufgenommen und über Kanal B an CASSY angeschlossen. Da der Empfänger das Signal gleichrichtet, wird ein stets positives Signal erwartet, das pro Periode der Schwingung zwei Maxima aufweist. Wird der Abstand verändert, sollte eine $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit festgestellt werden können. Da die Intensität proportional zu U^2 ist, können intensitätsproportionale Größen gemessen werden, indem die Spannung gemessen und quadriert wird.

3 Fresnel-Beugung

Um ein Interferenzbild hinter verschiedenen Spalten aufzunehmen, wird der in der Vorbereitungshilfe skizzierte Versuchsaufbau verwendet. Der Empfänger kann mittels einer Drehscheibe um den Spalt herumbewegt werden. Der momentane Drehwinkel wird mit einem Bewegungswandler erfasst. In diesem vorbereitenden Versuchsteil sollen verschiedene Interferenzbilder beobachtet werden. Die Wellen werden durch die erste Linse so fokussiert, dass sie stets parallel auf den Spalt auftreffen. Es wird zwischen Fresnel-Beugung und Fraunhofer-Beugung unterschieden. Diese beiden Phänomene entsprechen dem Nah- und Fernfeld elektromagnetischer Wellen. Ist der Abstand des Empfängers groß gegenüber der Breite des Spalts, so wird Fraunhofer-Beugung beobachtet, wie in Abbildung 3.1a gezeigt. Wird der Abstand des Empfängers zum Spalt verringert, so verändert sich das Interferenzbild über 3.1b und 3.1c bis zur Fresnel-Beugung, die in Abbildung 3.1d dargestellt ist. Die Spaltabmessungen können nun nicht mehr gegenüber dem Abstand zum Empfänger vernachlässigt werden. Charakteristisch für die Fresnel-Beugung ist ein großer Bereich, in dem die Intensität des Signals groß ist, aber stark oszilliert.

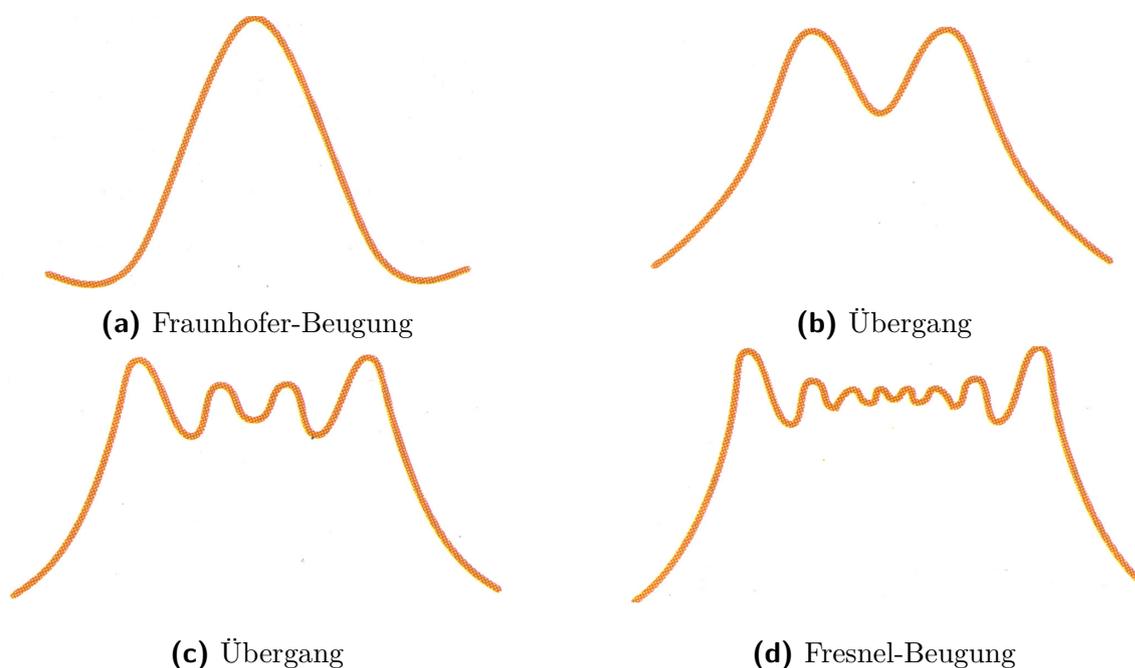


Abbildung 3.1: Beugungsbilder[1]

4 Interferenzbilder von Doppelspalt und Gitter

Die winkelabhängige Intensitätsverteilung eines Einfachspalts kann durch folgenden Zusammenhang beschrieben werden, wobei b die Breite des Spaltes ist:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2(x)}{x^2}, \quad \text{mit } x = \frac{\pi b}{\lambda} \sin(\theta).$$

Für ein Gitter mit N Spalten gilt bei Spaltbreite b und Spaltabstand d :

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2(x)}{x^2} \frac{\sin^2(Ny)}{\sin^2(y)}, \quad \text{mit } x = \frac{\pi b}{\lambda} \sin(\theta), \quad y = \frac{\pi d}{\lambda} \sin(\theta).$$

Wird die winkelabhängige Intensitätsverteilung verschiedener Spalte aufgenommen und die theoretische Verteilung daran angepasst, kann daraus die Wellenlänge λ als einziger Parameter in der theoretischen Verteilung bestimmt werden.

5 Interferometer

Zwei Plexiglasscheiben werden senkrecht zum Strahlengang angebracht. Bei Plexiglas sind für Mikrowellen Reflexions- und Transmissionskoeffizient näherungsweise gleich, so dass etwa die Hälfte der Strahlung reflektiert und die Hälfte durchgelassen wird. Die reflektierten und transmittierten Strahlen überlagern sich. Je nach Plattenabstand d entsteht destruktive oder konstruktive Interferenz. Konstruktive Interferenz entsteht, wenn der zusätzlich zurückgelegte Weg $2d$ ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist:

$$\lambda = \frac{2d}{n}.$$

Destruktive Interferenz entsteht, wenn durch den zusätzlich zurückgelegten Weg eine halbe Wellenlänge hinzukommt:

$$\lambda = \frac{2d}{n + \frac{1}{2}}.$$

Die Intensität wird nun in Abhängigkeit des Plattenabstands mit Hilfe von CASSY aufgenommen. Damit kann der Abstand d möglichst vieler Maxima n bestimmt werden und mit diesen Werten mit der Gleichung der konstruktiven Interferenz die Wellenlänge bestimmt werden.

6 Polarisation

(a) Der Sender erzeugt linear polarisierte Wellen. Wird der Empfänger um die horizontale Achse gedreht und die Intensität in Abhängigkeit des Drehwinkels aufgenommen, so sollte bei einem Winkel von 90° keine Intensität mehr gemessen werden können. Die Verteilung kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$I(\varphi) = I_0 \sin^2(\varphi).$$

(b) Nun wird ein $\lambda/4$ -Plättchen in der Strahlengang eingebracht. Die Streifen dieses Metallgitters stehen in einem 45° -Winkel zur Polarisationsrichtung der einfallenden Strahlen. Dadurch werden die Strahlen zirkular polarisiert, bzw. elliptisch polarisiert, da die Komponente des E-Felds parallel zu den Metallstreifen stärker gedämpft wird. Bei einer zirkular polarisierten Welle wäre die Intensität nicht winkelabhängig. Bei elliptischer Polarisation finden sich ein Maximum und um 90° verschoben dazu ein Minimum der Intensität, was der Form einer Ellipse entspricht. Wird die Intensität in einem Polardiagramm aufgetragen, sollte diese Form erkannt werden können.

7 Absorptionsvermögen

Bei Glas, Plexiglas und Paraffin wird das Absorptionsvermögen für Mikrowellen und sichtbares Licht verglichen. Das Absorptionsvermögen ist eine prozentuale Angabe gegenüber der ursprünglichen Intensität. Die Materialien werden nacheinander in den Strahlengang gebracht und die Intensität im gleichen Abstand wie ohne Material gemessen. Dabei soll gezeigt werden, dass Materialien für Wellen der einen Wellenlänge sehr gut passierbar sein kann, während es andere stark absorbiert.

8 Optischer Tunneleffekt

Zur Beobachtung des optischen Tunneleffekts werden zwei Prismen so in den Strahlengang gebracht, wie in Abbildung 8.1 zu sehen. Die Hypotenusen der Prismen befinden sich parallel zueinander. Der optische Tunneleffekt besteht darin, dass ein Strahl, der an der Hypotenuse des ersten Prismas aufgrund des Einfallswinkels total reflektiert werden sollte, teilweise in das zweite Prisma tunnelt und nach diesem als Intensität nachgewiesen werden kann. Die Intensität I dieser Strahlung wird in Abhängigkeit des Abstands x der Prismen gemessen. Erwartet wird ein exponentieller Abfall der Intensität, so wie in der Quantenmechanik die Wahrscheinlichkeitsverteilung außerhalb des erlaubten Bereichs exponentiell abfällt, wovon der optische Tunneleffekt seinen Namen trägt. Wird der Intensitätsverlauf logarithmisch aufgetragen, zeigt das Diagramm eine Gerade, deren Steigung m bestimmt werden kann. Für den Intensitätsverlauf gilt:

$$I(x) = I_0 \exp(mx).$$

Die Reichweite x_R der Strahlung ist als die Strecke definiert, nach der die Intensität auf $1/e$ ihres anfänglichen Wertes gesunken ist. Es gilt

$$\begin{aligned} \frac{1}{e} I_0 &= I_0 \exp(mx_R) \\ \log\left(\frac{1}{e}\right) &= mx_R \\ x_R &= \frac{\log\left(\frac{1}{e}\right)}{m} = \frac{\log(1) - \log(e)}{m} = -\frac{1}{m}. \end{aligned}$$

Benjamin Wädle
Benjamin Lipp

- 1 Zwei Messungen 1-1 und 1-2
- 2 eine Messung mit Hornempfänger 2-1

- 3 1) Anfang $-0,224$ m 2) Anfang $-0,240$ m
 Ende $0,203$ m Ende $0,001$ m (??)

$b = 7$ cm

justieren der Linsen und des Empfängers ohne Spalt

erreichte Spannung: $0,855$ V

- 4 mit Einzelspalt $b = 7$ cm 3-3-einzel
 mit Doppelspalt $b = 7$ cm $g = 10,5$ cm 3-4-doppel
 mit Gitter (Hühner) $b = 3,2$ cm $g = 6,4$ cm 3-5-gitter

5 S.labr und S.txt

6 ohne zusätzliches Element

Neigungswinkel [°]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Spannung [V]	0,855	0,835	0,790	0,712	0,575	0,350	0,140	0,047	0,010	0,002

mit $\lambda/4$ -Plättchen

Neigungswinkel [°]	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Spannung [V]	0,683	0,653	0,610	0,562	0,463	0,350	0,213	0,133	0,089

	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	0,068	0,066	0,093	0,184	0,363	0,500	0,573	0,603	0,618	0,619

	Material	Intensitäten [V]					
7	nichts	0,944	0,948	0,948	0,948	0,944	Sender und Empfänger mit auf gleiche Höhe
	Paraffin	1,322	1,322	1,323	1,323	1,323	
	Plexiglas	0,570	0,577	0,572	0,569	0,575	
	nichts	0,922	0,921	0,923	0,921	0,921	
	Paraffin	1,445	1,439	1,443	1,443	1,442	
	Glas (freihand)	0,257	0,287	0,467	0,488	0,735	
	Glas (anfert)	0,134	0,135	0,137	0,132	0,137	

		Abstand	Intensitäten [V]					
8	1	3,2 cm	0,015	0,015	0,017	0,017	0,017	
	2	1,6 cm	0,023	0,021	0,021	0,023	0,021) was nicht richtig ausgerichtet
	2	1,6 cm	0,023	0,023	0,023	0,023	0,021	
	3	0,8 cm	0,062	0,065	0,065	0,065	0,065	
	4	0,4 cm	0,206	0,210	0,207	0,207	0,212	
	5	0,2 cm	0,323	0,318	0,320	0,320	0,317	
6	0,1 cm	0,365	0,363	0,363	0,363	0,362		

Mikrowellenoptik

Versuchsprotokoll

Benjamin Lipp
Benjamin Wächter
Gruppe Do-27
31. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Bestimmung der Wellenlänge durch Ausmessen stehender Wellen	3
2	Beobachten des Signals mit Cassy	4
3	Fresnel-Beugung	6
4	Interferenzbilder von Doppelspalt und Gitter	8
4.1	Einzelspalt	8
4.2	Doppelspalt	10
4.3	Gitter	11
5	Interferometer	11
6	Polarisation	12
7	Absorptionsvermögen	14
8	Optischer Tunneleffekt	14

1 Bestimmung der Wellenlänge durch Ausmessen stehender Wellen

Das Feld der stehenden Welle zwischen Sender und Empfänger ist zwei Mal mit dem Empfangsdipol ohne Horn gemessen worden. Abstand s und Spannung U wurden mit CASSY aufgenommen. Der Dipol wurde ausgehend vom Sender zur Metallplatte hinbewegt. In den Diagrammen ist die Strecke am nächsten zum Sender als Nullpunkt gewählt worden; die Abbildungen 1.1 und 1.2 zeigen U^2 aufgetragen über s . Bei der zweiten Messung zeigen sich nahe am Sender keine sauberen Extremstellen, in Richtung Metallplatte wird die Intensität derart schwach, dass die Mess- und Ablesegenauigkeit der Extremstellen nicht gut sein wird. Aus diesen Gründen wird für die Bestimmung der Wellenlänge nur Messung 1 herangezogen. Die Intensität fällt bei Messung 1 zunächst ab, ist zwischen 20 cm und 40 cm schwach und ab dann wieder etwas stärker. Abstände zwischen Minima sind deshalb nur im Bereich von 0 cm bis etwa 17,5 cm und von etwa 38 cm bis 65 cm bestimmt worden. Im mittleren Bereich sind sie nicht genau genug aufgelöst. Die niedrige Intensität dort kommt durch die $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit zustande, der auch die reflektierte Welle unterliegt. Aus 27 Streckendifferenzen ergibt sich die halbe Wellenlänge als Mittelwert zu 1,57 cm und damit ist

$$\lambda = 3,14 \text{ cm},$$

mit einer Abweichung um 4,8 % vom erwarteten Wert 3,00 cm.

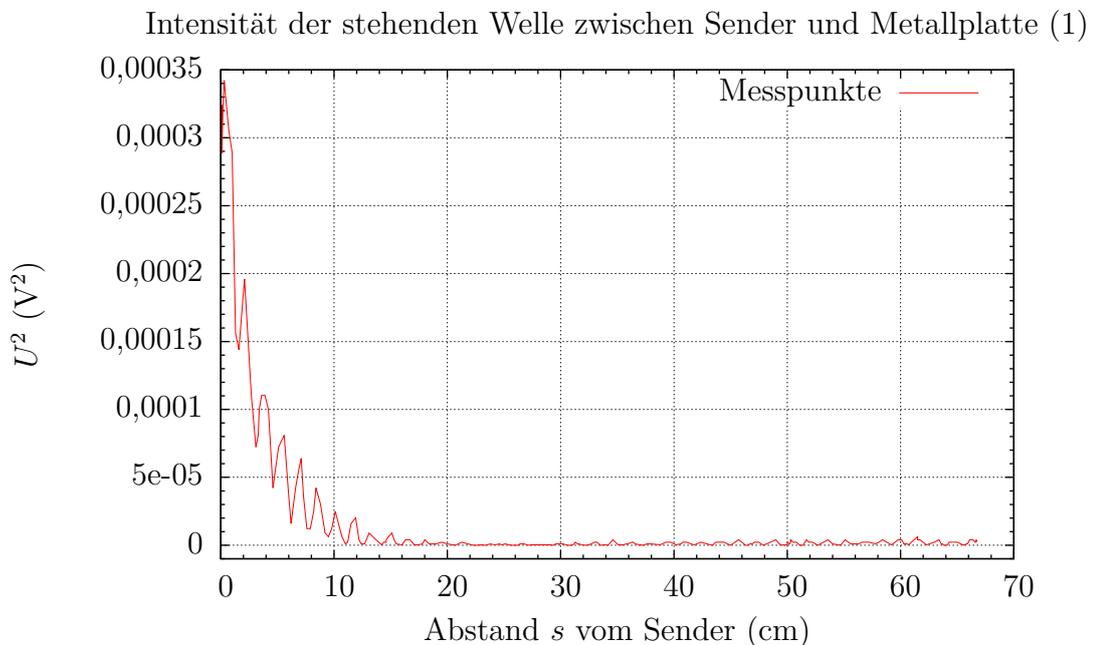


Abbildung 1.1: Erste Messung der Intensität zwischen Sender und Metallplatte

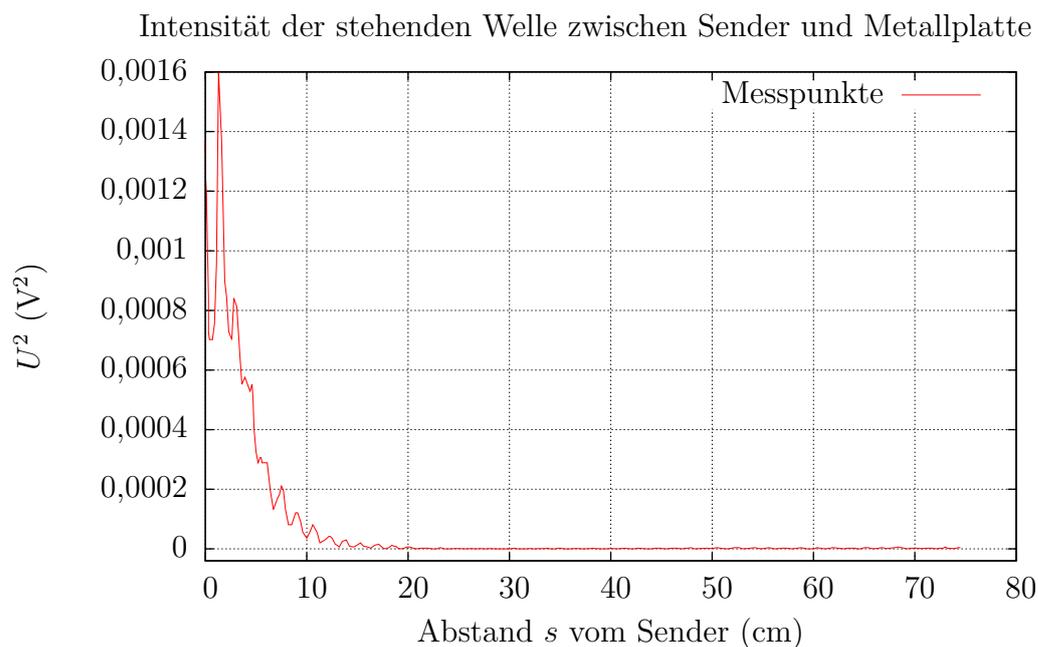


Abbildung 1.2: Zweite Messung der Intensität zwischen Sender und Metallplatte

2 Beobachten des Signals mit Cassy

Nun ist das Signal mit dem Hornempfänger aufgenommen worden. Begonnen wurde wieder direkt beim Sender, die Position mit geringstem Abstand zu ihm ist als $s = 0$ cm definiert worden. Der Messbereich von CASSY ist nicht groß genug eingestellt worden, um die anfänglich hohe Spannung aufzulösen, deshalb zeigt Abbildung 2.1 für kleine s einen konstanten Wert. In der Abbildung ist U^2 über s aufgetragen. Sobald die Spannung unter 1,024 V fällt, können Minima und Maxima erkannt werden. Die Intensität des Signals nimmt mit dem Abstand ab, es ist zur Verdeutlichung ein $\frac{1}{s^2}$ -Fit der Minima eingezeichnet. Die Werte außerhalb des Messbereichs wurden dabei ausgeschlossen. Beim Fit der Form $\frac{a}{(x+b)^2}$ wurden die Parameter a und b mit Fehlern von 14,96 % und 9,24 % bestimmt, in der Grafik ist diese Abweichung sichtbar. Die Messung intensitätsproportionaler Größen wurde bereits in der Vorbereitung diskutiert.

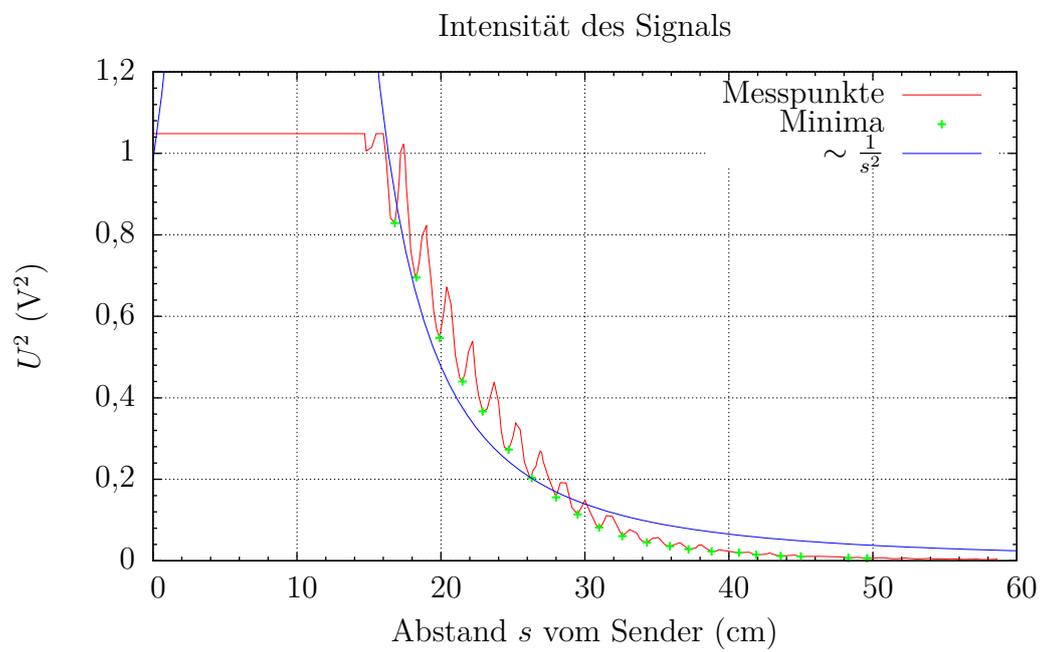


Abbildung 2.1: Intensität des Signals gemessen mit dem Hornempfänger

3 Fresnel-Beugung

Zunächst wurde der in der Vorbereitungshilfe in Abbildung 7 skizzierte Messaufbau optimiert um am Empfänger eine möglichst große Intensität zu empfangen. Ein Spalt wurde noch nicht eingesetzt, nur die beiden Linsen zwischen Sender und Empfänger aufgestellt. Um die Intensität zu vergrößern, ist die Höhe der vier Elemente und der Abstand zwischen ihnen verändert worden. Es konnte eine Spannung von 0,855 V erreicht werden. Zu Beginn betrug die Spannung nur ein Zehntel davon. Für die Messungen in diesem Teilversuch ist ein Einzelspalt mit einer Breite von 7 cm verwendet worden. Es sind zwei Messungen durchgeführt worden, die Intensitätsverläufe sind in den Diagrammen 3.1 und 3.2 gezeichnet. Aus der von CASSY aufgenommenen Strecke s ergibt sich der Winkel in Bogenmaß s/r und damit der Winkel in Grad zu

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{s}{2\pi \cdot r}.$$

Bei Vergleich von Messung 1 und Messung 2 anhand der Diagramme wird deutlich, dass bei Messung 1 nur sehr viel kleinere Intensitäten gemessen wurden. Anhand der jeweiligen Maximalwerte $2 \times 10^{-6} \text{ V}^2$ und $8 \times 10^{-5} \text{ V}^2$ ergibt sich, dass die Intensitäten bei Messung 1 um den Faktor 40 kleiner sind. Bei Messung 1 sind größere relative Schwankungen in der Intensität erkennbar. Um 0° kann ein Plateau in der Intensität abgelesen werden. Ob dies als Maximum angesehen werden kann ist fraglich, da die Intensität bei Messung 2 viel größer ist. Ein deutliches Beispiel für Fresnel-Beugung wären diese Schwankungen um das Plateau dennoch. Messung 2 zeigt ein gutes Beispiel für Fraunhofer-Beugung: ein deutliches Maximum ist erkennbar, das nur wenig von Schwankungen in die Breite gezogen wird. Aufgrund des geringen Spielraums in der Entfernung des Senders kann bei diesem Versuch keine zufriedenstellende Gegenüberstellung von Fresnel- zu Fraunhofer-Beugung festgestellt werden.

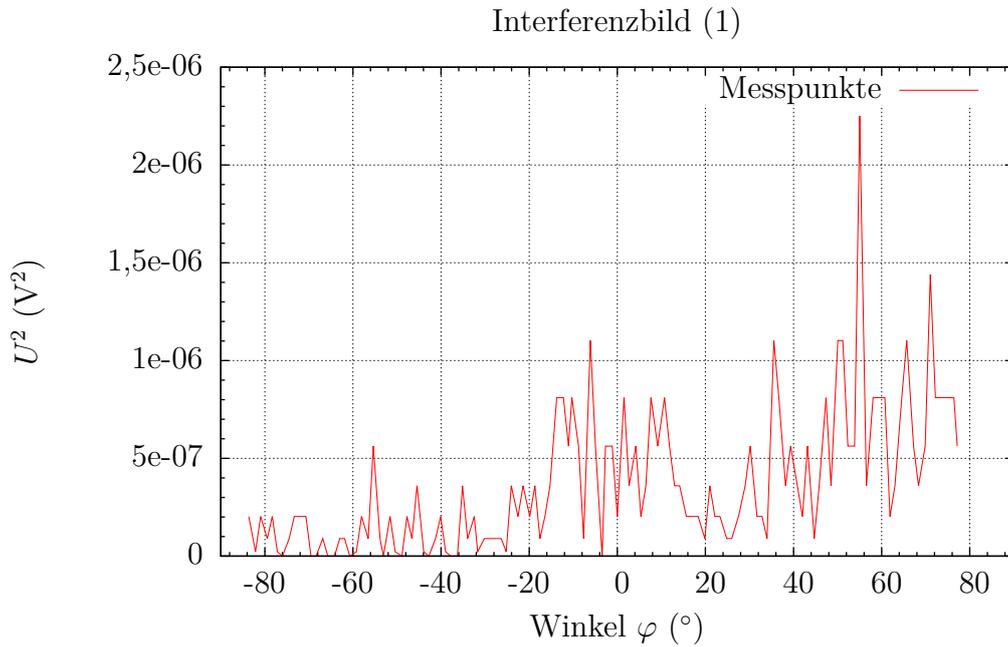


Abbildung 3.1: Erste Messung eines Intensitätsverlaufs bei einem Einzelspalt mit $b = 7 \text{ cm}$

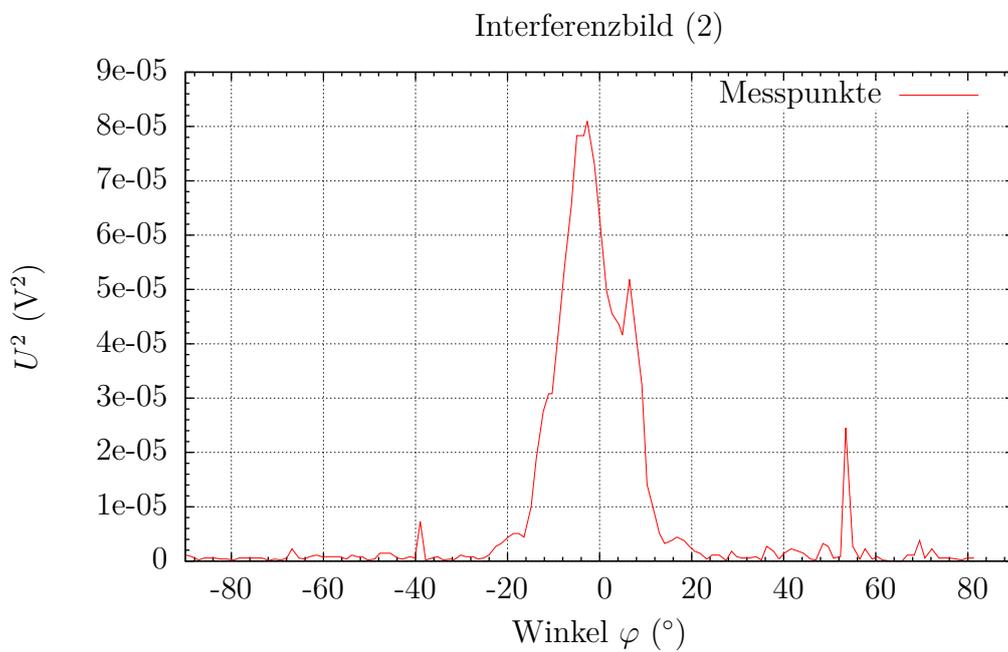


Abbildung 3.2: Zweite Messung eines Intensitätsverlaufs bei einem Einzelspalt mit $b = 7 \text{ cm}$

4 Interferenzbilder von Doppelspalt und Gitter

Für einen Einzelspalt, einen Doppelspalt und einen Fünffachspalt sind Intensitätsverläufe aufgenommen worden. Die Umrechnung der gemessenen Strecke in den entsprechenden Winkel im Gradmaß geschieht wie in der Aufgabe zuvor. Bei diesen Messungen war die Abweichung des Winkel-Nullpunkts bei Doppelspalt und Fünffachspalt deutlich. Bei diesen Messungen sind die Intensitätsverläufe so verschoben worden, dass das Maximum am Winkel-Nullpunkt zu liegen kommt. Die Verschiebung betrug beim Doppelspalt $87,2^\circ$ und beim Fünffachspalt $1,5^\circ$. Die große Abweichung beim Doppelspalt kommt durch vergessenes Rücksetzen des Streckenmessers zustande. Zum rechten Winkel ist es nur eine Abweichung um $2,8^\circ$. Jeder Intensitätsverlauf wird manuell auf den theoretisch erwarteten Verlauf nach den in der Vorbereitung genannten Gleichungen gefittet. Die Parameter der Spalte werden jeweils in die Gleichungen eingesetzt, nur die Wellenlänge bleibt als veränderlicher Parameter.

4.1 Einzelspalt

Für den Einzelspalt mit $b = 7\text{ cm}$ ergibt sich die Wellenlänge $\lambda = 3,6\text{ cm}$. Als maximale Intensität ist $I_0 = 2\text{ mV}^2$ gewählt worden. Abbildung 4.1 zeigt den Intensitätsverlauf samt gefitteter Kurve. Deutlich sichtbar ist, dass die Maxima zweiter Ordnung eine viel kleinere Intensität aufweisen als erwartet. Dies ist auch bei Doppelspalt und Gitter der Fall. Es können jeweils nur die Hauptmaxima erkannt werden, die Intensität zwischen ihnen ist sehr gering. Hauptmaxima mit größerer Ordnung können ebenfalls nicht mehr aufgelöst werden.

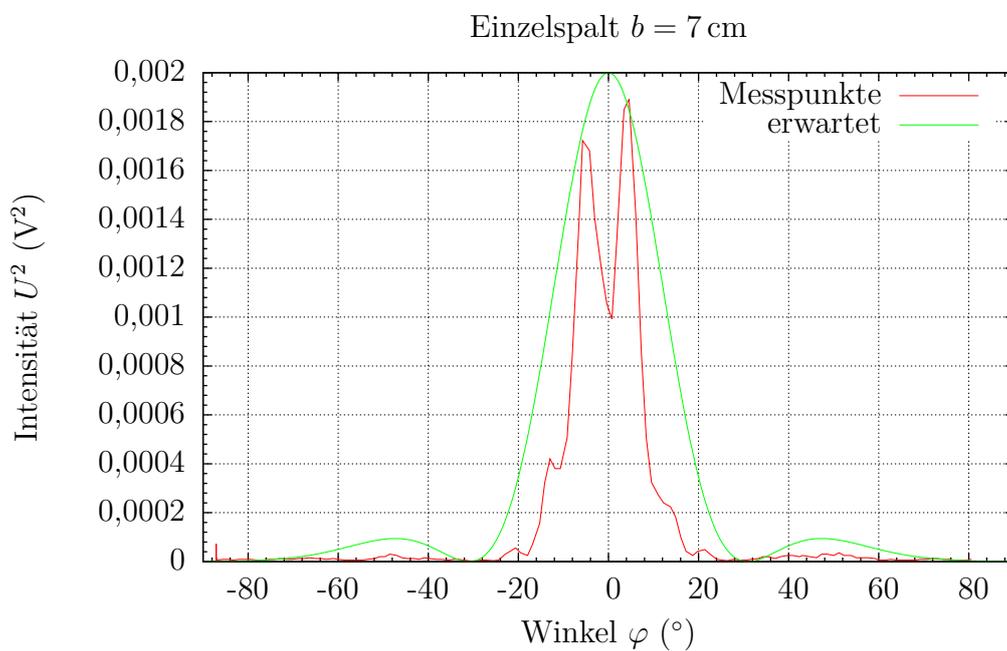


Abbildung 4.1: Messung des Intensitätsverlaufs bei einem Einzelspalt mit $b = 7 \text{ cm}$.
Ergebnis des Fits: $\lambda = 3,6 \text{ cm}$, $I_0 = 2 \text{ mV}^2$

4.2 Doppelspalt

Für den Doppelspalt mit $b = 7\text{ cm}$ und $g = 10,5\text{ cm}$ ergibt sich die Wellenlänge $\lambda = 3,7\text{ cm}$. Als maximale Intensität ist $I_0 = 7,8\text{ mV}^2$ gewählt worden. Abbildung 4.2 zeigt den Intensitätsverlauf samt gefitteter Kurve.

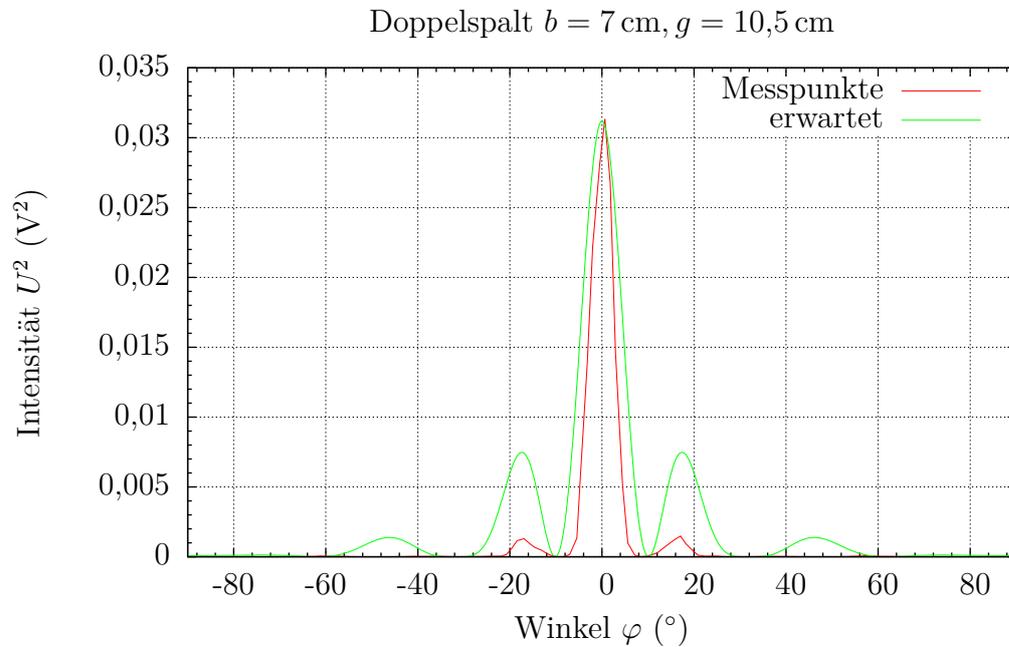


Abbildung 4.2: Messung des Intensitätsverlaufs bei einem Doppelspalt mit $b = 7\text{ cm}$, $g = 10,5\text{ cm}$. Ergebnis des Fits: $\lambda = 3,7\text{ cm}$, $I_0 = 7,8\text{ mV}^2$

4.3 Gitter

Für den Fünffachspalt mit $b = 3,2\text{ cm}$ und $g = 6,4\text{ cm}$ ergibt sich die Wellenlänge $\lambda = 3,2\text{ cm}$. Als maximale Intensität ist $I_0 = 0,84\text{ mV}^2$ gewählt worden. Abbildung 4.3 zeigt den Intensitätsverlauf samt gefitteter Kurve.

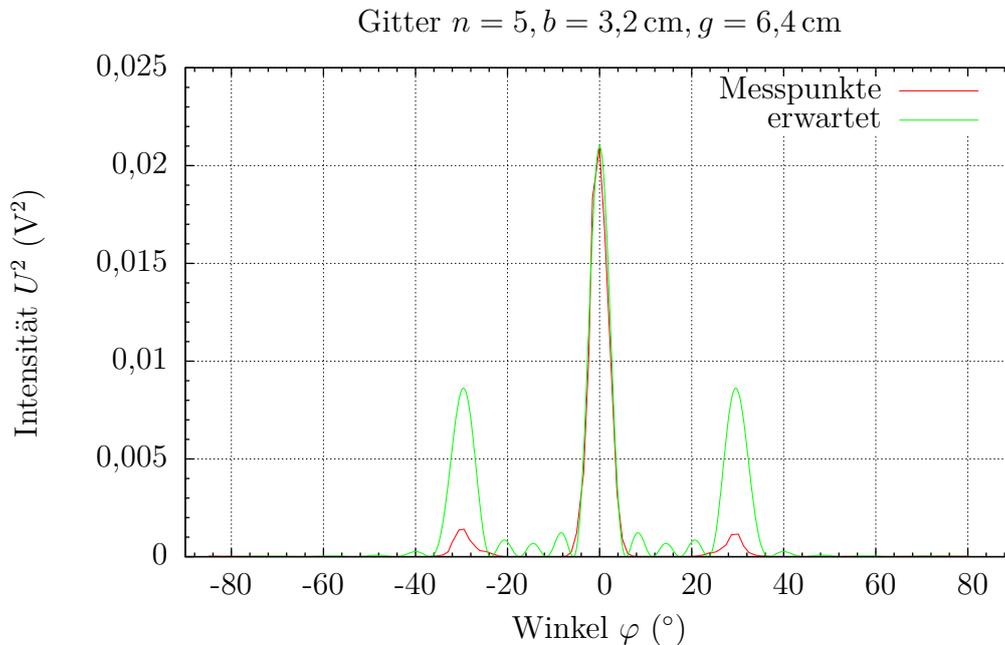


Abbildung 4.3: Messung des Intensitätsverlaufs bei einem Gitter mit $n = 5, b = 3,2\text{ cm}, g = 6,4\text{ cm}$. Ergebnis des Fits: $\lambda = 3,2\text{ cm}, I_0 = 0,84\text{ mV}^2$

Die drei Messwerte für die Wellenlänge der verwendeten Mikrowellen weichen um 20 %, 23,3 % und 6,7 % vom angegebenen Wert 3 cm ab. Der Mittelwert 3,5 cm weicht um 16,7 % ab. Die Wellenlänge der Mikrowellen im Zentimeterbereich konnte damit nachgewiesen werden. Diese im Vergleich zu Aufgabe 1 größeren Abweichungen sind vermutlich hauptsächlich von der nicht mehr so guten Qualität der mittlerweile alten Linsen zu verantworten. Die Ungenauigkeit der Streckenmessung spielt ebenfalls eine Rolle.

5 Interferometer

Zunächst bringen wir die beiden Plexiglasplatten möglichst nahe zusammen und bewegen sie dann langsam über die Strecke etwa eines halben Meters auseinander, CASSY misst dabei die zurückgelegte Strecke und die jeweilige Intensität als Spannung, die Werte sind in Abbildung 5.1 dargestellt, um einen zur Intensität proportionalen Wert zu erhalten wurden die Spannungswerte quadriert. Wir zählen innerhalb des Intervalls von 0,003-0,482 m, also $\Delta x = 0,479\text{ m}$, insgesamt 31 Maxima,

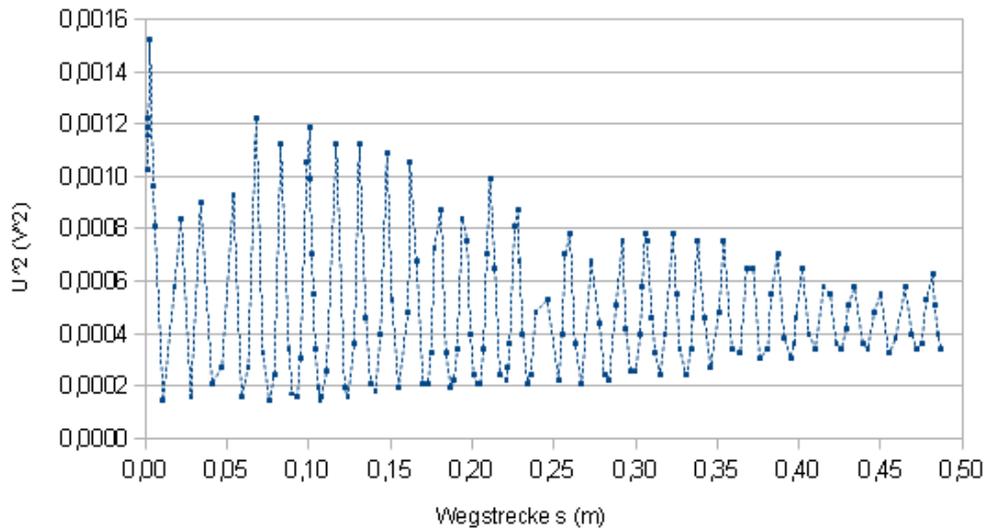


Abbildung 5.1: Intensität über Abstand

somit ergibt sich die Wellenlänge über:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{n} = \frac{2 \cdot 0,479m}{31} = 0,0309m$$

Vergleicht man mit dem theoretischen Wert,

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{10^9 \frac{1}{s}} = 0,03m$$

so lässt sich sagen dass sich die Methode recht gut zur Bestimmung von Wellenlängen eignet.

6 Polarisation

Wir drehen den Hornempfänger in 10° Schritten von seiner Betriebsposition einmal a) ohne 'Plättchen' um 90° und dann b) mit $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen um 180° , CASSY liefert uns wieder ein zur Intensität in Beziehung stehendes Spannungssignal. Tabelle 6.1 zeigt die Messwerte.

Wir tragen das Quadrat der Spannung über den Winkel für beide Messreihen auf, zudem stellen wir die theoretisch zu erwartende Kurve dar, für diese gilt:

$$I(\Phi) = I_0 \cdot \cos^2(\Phi)$$

Wobei als I_0 jeweils das Maximum der Intensität gewählt wurde.

Winkel(°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_a^2(V^2)$	0,855	0,835	0,790	0,712	0,575	0,350	0,140	0,047	0,010	0,002
$U_b^2(V^2)$	0,683	0,653	0,610	0,562	0,469	0,350	0,213	0,133	0,089	0,068

Winkel(°)	-	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$U_a^2(V^2)$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$U_b^2(V^2)$	-	0,066	0,098	0,184	0,363	0,500	0,579	0,603	0,618	0,619

Tabelle 6.1: Messwerte mit und ohne $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen

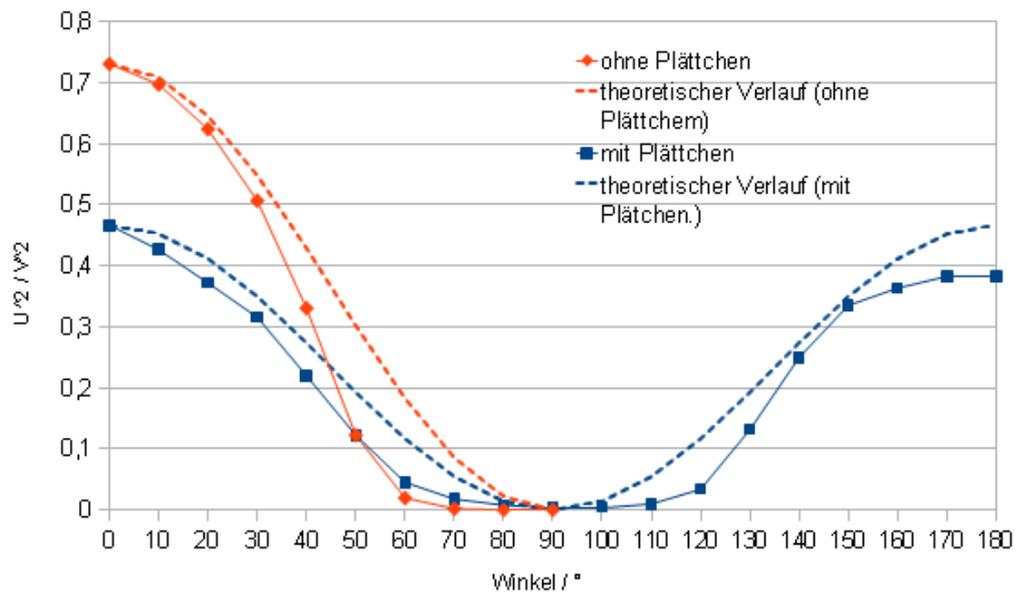


Abbildung 6.1: Intensität über Abstand

Man sieht deutlich den Einfluss der bereits auf dem Aufgabenplatt erwähnten Dämpfung, die Intensität der Kurve mit Plättchen ist deutlich kleiner, eine Phasenverschiebung ist jedoch kaum zu erkennen. Schaut man sich Tabelle 6.1 an so ist das Minimum bei Messreihe b) vermutlich im Intervall zwischen $90-110^\circ$ zu finden ohne genauere Messung kann dieses und damit die Verschiebung in der Phase nicht genauer bestimmt werden. Weiter sieht man dass die Werte in b) nicht mehr auf Null abfallen, dennoch recht klein werden, was sich wohl auf die geringe Phasenverschiebung zurückführen lässt. Weiter beobachtet man in Abb. 6.1 dass die Messwerte nicht dem theoretischen Verlauf folgen sondern früher abfallen. Zudem sieht man beim $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen, dass die Intensität bei 180° nicht mehr den gleichen Wert wie am Anfang erreicht beides ist ein Indiz dafür, dass Sender und Empfänger im Vorfeld nicht gut zueinander ausgerichtet wurden.

7 Absorptionsvermögen

Material	Intensität (U^2)
Luft	0,849
Paraffin	2,081
Plexiglas	0,327
Glas	0,018

Tabelle 7.1: Ankommende Intensität für die verschiedenen Materialien

Tabelle 7.1 zeigt die Intensität der Welle für das Durchlaufen von Luft (als Referenz), Paraffin, Plexiglas und Glas, geordnet in absteigender Reihenfolge, wir hatten nur die Paraffinlinse zur Verfügung da diese die Welle im Empfänger fokussiert ist die gemessene Intensität noch höher als bei Luft es ist aber eine geringerer Wert für ein Objekt mit ebener Oberfläche zu erwarten. Vergleicht man dieses Ergebnis mit sichtbarem Licht so ist zumindest für die drei untersuchten Materialien ein komplementäres Verhalten zu erkennen.

8 Optischer Tunneleffekt

Wir haben für sechs verschieden Abstände x zwischen den Prismen, beginnend bei 3,2 cm wobei der Abstand nun jedes mal halbiert wurde, die Intensitäten jeweils fünf mal gemessen, die Werte sind in Tabelle 8.1 zu sehen. Wir erwarten die folgende Abhängigkeit:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-ax}$$

Trägt man den Logarithmus des Quadrat der Spannungsmittelwerte über den Abstand auf sollte sich somit eine Gerade ergeben, aus deren Steigung wir den Koeffizienten a bestimmen.

Abstand (cm)		3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1
Spannungen (V)	1	0,015	0,023	0,062	0,206	0,323	0,365
	2	0,015	0,021	0,065	0,210	0,318	0,363
	3	0,017	0,021	0,065	0,207	0,320	0,363
	4	0,017	0,023	0,065	0,207	0,320	0,363
	5	0,017	0,021	0,065	0,212	0,317	0,362
	Mittelwert	0,016	0,022	0,064	0,208	0,320	0,363
$\ln(U^2)$		-8,245	-7,652	-5,485	-3,137	-2,281	-2,026

Tabelle 8.1: Messwerte der Spannungen und der Logarithmus deren Quadrate

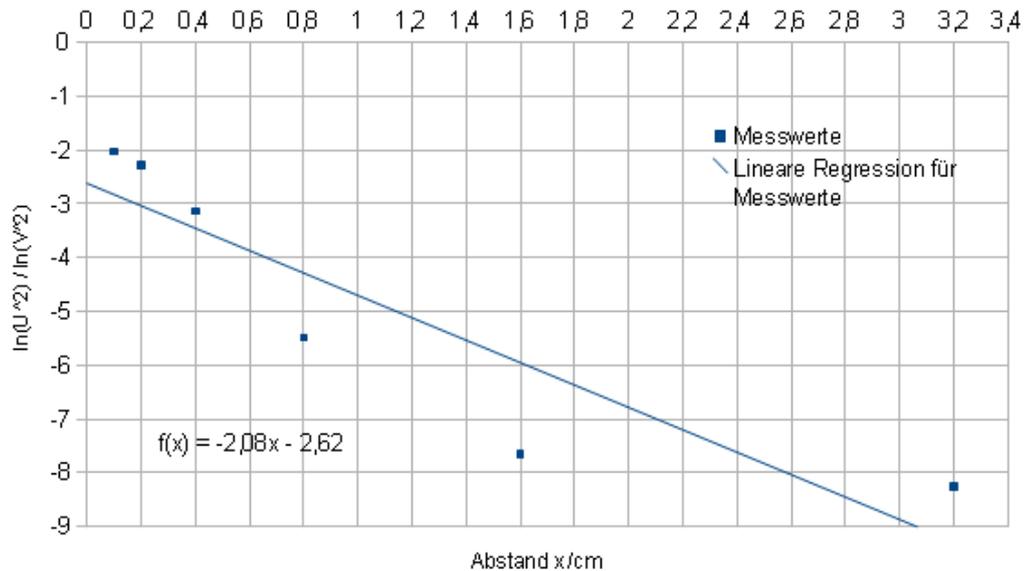


Abbildung 8.1: Logarithmus des Spannungsquadrats über dem Abstand

Abbildung 8.1 lässt kaum die erwartete Linearität erahnen, dennoch haben wir über eine lineare Regression die Steigung mit $2,08 \frac{1}{\text{cm}}$ bestimmt. Damit errechnet sich die gesuchte Eindringtiefe R wie folgt:

$$\frac{I_0}{e} = I_0 \cdot e^{-2,08 \frac{1}{\text{cm}} \cdot R}$$

$$-1 = -2,08 \frac{1}{\text{cm}} \cdot R$$

Womit wir also ein R von 0,481 cm erhalten was etwa einem sechstel der Wellenlänge entspräche, wie bereits erwähnt zeigt die Kurve kaum einen linearen Charakter, dies

könnte damit zusammenhängen, dass in den Plexiglaswänden der Zuckerprismen ebenfalls Absorption stattfindet, welche wir nicht berücksichtigen, die Genauigkeit des Wertes lässt sich also durchaus bezweifeln.