

Versuch: P2-15

# Zentimeterwellenoptik mit Messinterface

- Auswertung -

## Vorbemerkung

Da bei Verwendung von Licht (also elektromagnetischer Wellen im Bereich von mehreren hundert Nanometern) optische Effekte teils schwierig zu beobachten sind, wurden in diesem Versuch Zentimeterwellen, d.h. Wellen mit einer Wellenlänge von einigen Zentimeter verwendet. Diese tragen den Eigennamen *Mikrowellen*. Auch bei diesen Wellen wollten wir die typischen Beugungs- und Interferenzphänomene der klassischen Optik beobachten, allerdings auch Experimente darüber hinaus durchführen, als Beispiel sei der optische Tunneleffekt genannt.

Gleichzeitig bot dieser Versuch die Möglichkeit, das Umgehen mit größeren Datenmengen und die Auswertung mittels Computerprogrammen zu trainieren. In diesem Fall wurde die Datenerfassung vom sogenannten *CASSY* Messinterface durchgeführt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Wellenlängenbestimmung	2
2	Hornempfänger und CASSY	3
3	Fresnel-Beugung am Einzelspalt	4
4	Messung des Spektrums von Spalten und Gittern mit CASSY	5
5	Interferometer	7
6	Polarisation der Mikrowellenstrahlung	8
7	Absorptionsvermögen	9
8	Intensitätsmessung und optischer Tunneleffekt	9

# 1 Wellenlängenbestimmung

In diesem einführenden Versuchsteil ging es darum, die Wellenlänge der verwendeten Strahlung zu bestimmen. Dafür wurde eine große Metallplatte in einem gewissen Abstand zur Strahlenquelle aufgestellt - diese Wand diente somit als Reflektor der Strahlung, die eine stehende Welle ausbildet, die man vermessen kann. An der Metallwand befindet sich ein Knoten der stehenden Welle, denn angenommen dort wäre kein Knoten, dann müsste etwas im Metall mit der Amplitude der eingestrahlten Welle oszillieren, da es sich aber um einen Festkörper handelt, ist dies auszuschließen. Die Situation ist also die Folgende:

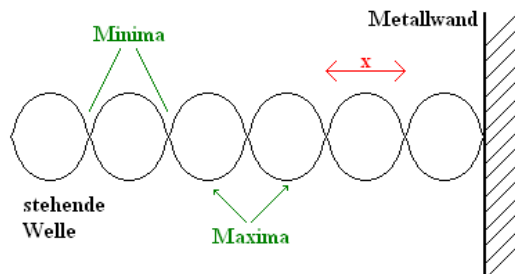


Abb.1: stehende Welle

Um nun die Wellenlänge der verwendeten Strahlung zu bestimmen, verwendeten wir das erste Mal das Messinterface CASSY. Dieses Interface hat 2 Messkanäle, die wir beide brauchten: das Vorgehen war nämlich, dass wir einen Empfänger langsam durch die stehende Welle führten um die Intensität zu ermitteln. Dabei montierten wir folgende Komponenten linear auf eine Schiene: Quelle, verschiebbarer Empfänger und Metallplatte. Der eine Kanal von CASSY nahm die Wegstrecke, also den Weg, um den der Empfänger verschoben wird, auf. Dafür wurde ein Gewicht an einem Stück Faden befestigt, dieser Faden auf eine Umlenkrolle am Ende des Tisches gelegt (so dass das Gewicht frei in der Luft hing) und das andere Ende des Fadens an der Befestigung des Empfängers befestigt. Bewegte man also den Empfänger, so drehte sich die Umlenkrolle aufgrund des Zuges durch das Gewicht und die Umdrehungen der Umlenkrolle entsprachen dann dem zurückgelegten Weg. Der andere Kanal von CASSY wurde direkt am Empfänger montiert. Allerdings ließ sich nicht direkt die Intensität messen, sondern nur eine Spannung am Empfänger abgreifen. Diese Spannung ist proportional zum  $\vec{E}$ -Feld. Die Intensität wiederum errechnet sich u.a. aus dem Betragsquadrat des  $\vec{E}$ -Feldes. Somit gilt:

$$E \propto U, \quad I \propto |\vec{E}|^2 \quad \Rightarrow \quad I \propto U^2 \quad (1)$$

Um also die Intensitätsverhältnisse richtig aufzutragen, müssen wir das Quadrat der Spannung verwenden. Wir begannen also die Messung kurz vor der Metallplatte (Nulllage) und zogen langsam den Empfänger von der Platte weg. Dabei ließen wir uns von CASSY in einem gewissen Messintervall Werte aufschreiben. Die Messwerte seien hier nicht angegeben, das würde den Rahmen sprengen. Folgendes Diagramm ergibt sich für die Auswertung der Messwerte:

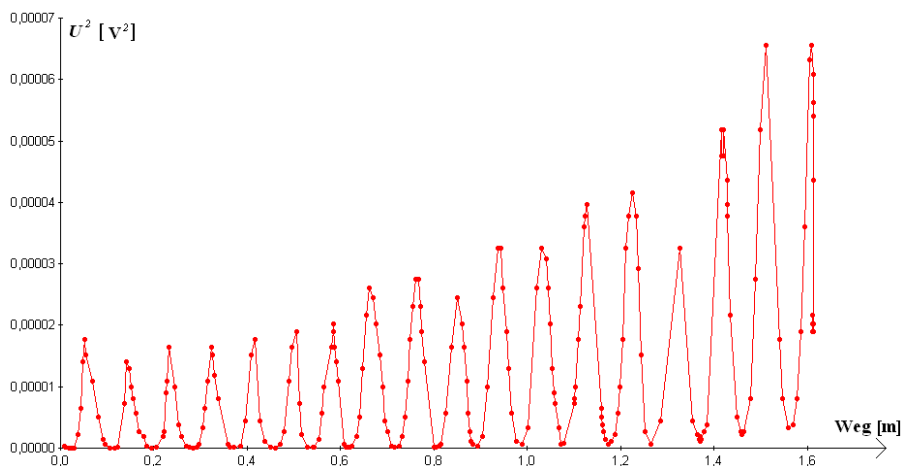


Abb.2: Wellenlängenbestimmung

Wir sehen hier zumindest sehr gut, dass wir sehr scharfe und saubere Maxima haben, die Annahme einer stehenden Welle ist somit voll bestätigt. Ermitteln wir nun die Wellenlänge; für diese gilt nach obiger Abbildung:

$$\lambda = 2 \cdot x \quad (2)$$

Der Abstand zweier Knoten, bzw. zweier Maxima entspricht also einer halben Wellenlänge. Berechnen wir nun für je 2 benachbarte Maxima den Abstand und bilden den Mittelwert, so erhalten wir:

$\lambda = 0,1832 \text{ m}$  Das ist natürlich ein erschreckender Wert, angesichts einer Literaturwellenlänge von 3cm! Wie lässt sich dies nun erklären? Uns ist auch nach Überprüfung kein Fehler im Aufbau klar geworden. Untersucht man die Messwerte, dann fragt man sich, ob die Längenmessung richtig war, denn insgesamt haben wir über eine Strecke (laut CASSY) von etwa 1,6m gemessen. Im Nachhinein ist fraglich, ob unsere Messstrecke wirklich so lang war. Möglicherweise ist der Faden aus der Umlenkrolle gesprungen, was allerdings eher weniger als mehr gemessene Strecke zur Folge haben sollte. Auch ist irritierend, dass in der Kurve keine Abweichungen zu finden sind, der Verlauf ist genau der erwartete. Eine Möglichkeit wäre noch, dass wir uns schlicht um einen Faktor 10 vertan haben; jedoch auch nach mehrmaligem Prüfen der Daten von CASSY ergibt sich kein Fehler. Somit bleibt festzuhalten: der Literaturwert für die verwendete Wellenlänge konnte nicht verifiziert werden.

## 2 Hornempfänger und CASSY

Diese Aufgabe war eher demonstrativer Natur. Man sollte die Signalform überprüfen, wenn mit einem bewegten Hornempfänger das emittierte Signal auffängt. Auf die Schiene wurde nur die Quelle und der Quelle gegenüber der Horn-Empfänger gestellt, welcher zweifach an CASSY angeschlossen wurde, einmal wieder über die Umlenkrolle zur Bestimmung der Strecke und dann natürlich die Spannungsmessung für die Intensität. Zuerst stellten wir die Quelle und den Empfänger unmittelbar voneinander und zogen sie langsam voneinander weg. Dabei sollte sich ein Abfall, der proportional zum Abstandsquadrat ist, einstellen. Es ergab sich dann folgendes Messresultat:

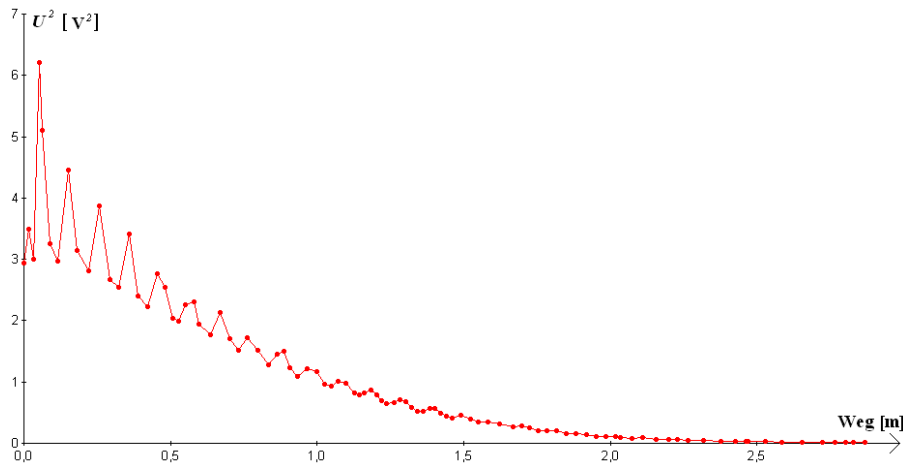


Abb.3: Intensitätsverlauf

Wir sehen also den in etwa erwarteten Abfall, wobei wir (gerade unter Beachtung der Probleme aus Aufgabe 1) uns fragen müssen, ob unsere Messstrecke überhaupt 3 Meter lang war. Nichtsdestotrotz scheint diese Aufgabe den Erwartungen zu entsprechen.

### 3 Fresnel-Beugung am Einzelspalt

Bei diesem Aufgabenteil sollte die Fresnel-Beugung am Einzelspalt beobachtet werden. Wie bereits in der Vorbereitung ausführlich beschrieben, unterscheidet man bei Beugungsbildern zwischen der Fraunhoferbeugung, die mehrere Näherungen, wie etwa senkrecht und parallel auf den Spalt treffende Strahlen sowie einen großen Abstand vom Schirm, und der Fresnelbeugung, bei der diese Komponenten (wie z.B. die Spaltbreite) nicht mehr vernachlässigbar klein sind. Das Aussehen der theoretischen Beugungsbilder ist der Vorbereitung zu entnehmen. Bevor wir nun also die „glatten“ Fraunhoferschen Beugungsbilder betrachten, versuchen wir ein Fresnelsches Beugungsbild zu erstellen. Dafür wählten wir folgenden Aufbau:

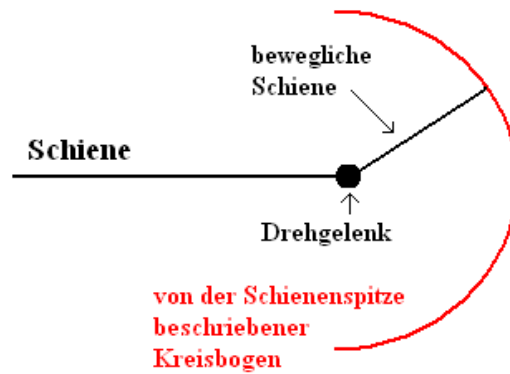


Abb.3: Aufbau Aufgabe 3

Am linken Ende der Schiene wurde die Strahlenquelle postiert. Auf der Drehgelenk wurde der Einzelspalt eingebaut. Dieser bestand aus einer großen Metallplatte, aus der ein rechteckiges Loch mit Spaltbreite 11cm ausgetrennt war. Um mögliche Beugung an den Kanten der Metallplatte zu vermeiden, wurde noch eine größere Metallplatte angeschraubt, so dass Beeinflussung durch Beugung hier ausgeschlossen werden kann. Auf der beweglichen Schiene, die von einem steuerbaren Motor angetrieben wurde, befestigten wir den Hornempfänger. Um nun den Aufbau zu vervollständigen benutzen wir zwei recht große Paraffinlinsen zur Bündelung der Strahlen. Die erste Linse wurde im Abstand ihrer Brennweite zur Quelle auf die Schiene gestellt. Die zweite Linse wurde auf der beweglichen Schiene festgeschraubt, wobei ihr Abstand zum Empfänger ebenfalls genau ihrer Brennweite entsprach. Hierbei ist nun sehr wichtig, dass die Linse nah am Spalt stand, immerhin sollten ja nun nicht mehr die Vereinfachungen der Fraunhoferbeugung gelten, sondern wir wollten die Fresnelbeugung beobachten. Skizzenhaft ist der Aufbau mit den Linsen in der Vorbereitungshilfe gezeichnet. Bevor wir nun allerdings messen konnten, musste eine Feineinstellung der Apparatur vorgenommen werden. Hierfür ließen wir CASSY, das diesmal nur auf dem Spannungskanal mit dem Empfänger verbunden war, die „Intensität“ messen (Es werden im folgenden oft synonym die gemessenen Spannung und die Intensität verwendet. Obwohl der Empfänger nur Spannungen misst, suchen wir ja die Größe Intensität.). Der zweite Kanal von CASSY überwachte die Winkelabhängigkeit, d.h. dieser Kanal war mit dem Motor verbunden und zeichnete die Bewegung der beweglichen Schiene in winkelform auf. Zurück zur Feineinstellung: die Spannungsanzeige beobachtend verschoben wir (zunächst ohne den Spalt) minimal die Linse auf der beweglichen Schiene und den Empfänger, wobei sich herausstellte, dass die kleinste Veränderung einen deutlichen Spannungswechsel nach sich ziehen konnte. Nach dieser Feineinstellung wurde der Spalt wieder befestigt. Nun erfolgte die eigentliche Messung. Mit eingeschaltetem Motor fuhren wir nun durch das Beugungsbild, d.h. wir maßen winkelabhängig die Intensität (Anm: also die Spannung).

Das Ergebnis war folgendes:

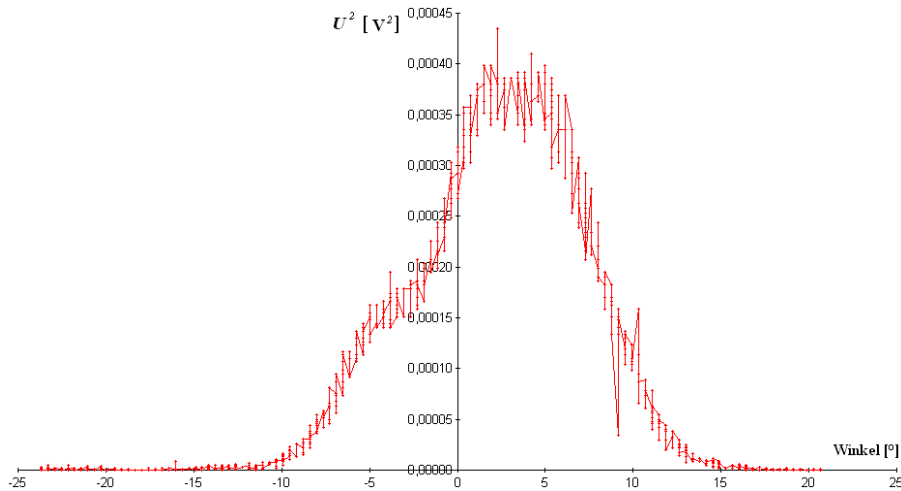


Abb.4: Fresnelbeugung am Einzelspalt

Hierbei sei gesagt, dass dieser Graph das Ergebnis einer sehr langen Messung ist! Wir mussten viele Parameter häufig variieren, um dieses Bild zu erhalten. Das Spektrum der gemessenen Intensitäten bei diesem Versuch lag zwischen einem perfekten Fraunhoferbeugungsbild und einem völlig sinnlos Oszillierendem. Nichtsdestotrotz kann man mit etwas gutem Willen bei dieser Messung am oberen Rand der Kurve den für die Fresnelbeugung charakteristischen Verlauf, das Oszillieren am oberen Teil der Kurve, erkennen.

## 4 Messung des Spektrums von Spalten und Gittern mit CASSY

Nun führten wir mit annähernd gleichem Aufbau ein weiteres Experiment: die Erzeugung der Fraunhoferbeugungsbilder für einen Einzelspalt, einen Doppelspalt und ein Gitter in Form eines Fünffachspaltes. Die Anordnung blieb mehr oder weniger gleich, nur wurde jetzt der Abstand vom beugenden Objekt zur Linse deutlich erhöht; der Empfänger wurde am Ende der beweglichen Schiene postiert, die Linse entsprechend der Brennweite davor. Dann liefen die Einstellungen analog zu Aufgabe 3 - ohne Spalt wurde die Intensitätsmaximierung durchgeführt (mittels leichter Abstandsveränderungen von Linse und Empfänger), danach der Spalt, bzw. das Gitter, das ebenfalls mit einer großen aufgeschraubten Metallplatte (wiederum um Beugung an den Kanten zu vermeiden) versehen wurde, in den Strahlengang gestellt. Nun wurde wieder winkelabhängig die Intensität gemessen. Für die winkelabhängige Intensität des Einzelspaltes erwarteten wir:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \frac{\sin^2(x)}{x^2}, \quad \text{mit } x = \frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \theta \quad (3)$$

wobei  $b$  die Spaltbreite bezeichne, in diesem Fall wählten wir, um Fraunhoferbeugung zu erhalten, den Spalt mit der kleinsten Breite, somit gilt hier  $b = 3,8 \text{ cm}$ . Abgesehen davon, dass wir in diesem Versuch die Fraunhoferbeugung schön demonstrieren können, gibt es uns die Möglichkeit, die Wellenlänge der verwendeten Strahlung zu approximieren. Dafür werden wir schlicht eine Kurve in das Diagramm zeichnen, die unsere Messung am besten annähert. Daraus können wir dann mit obiger Formel einen Wert für die Wellenlänge ermitteln.

Für unsere Messung tragen wir also das Spannungsquadrat über dem Winkel auf, jedoch normieren wir die Funktion vorher, d.h. dass das Maximum bei 1 liegt. Dann tragen wir die  $\frac{\sin^2(x)}{x^2}$ -Funktion auf und wählen den Parameter  $\lambda$  so, dass die Kurven möglichst gut übereinstimmen:

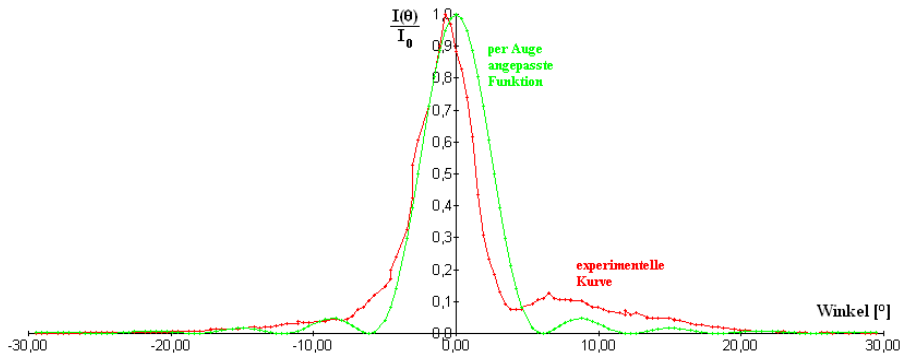


Abb.5: Fraunhoferbeugung am Einzelspalt

Dies ist leider wieder etwas frustrierend, denn den Wert, den wir hier für die Wellenlänge ermitteln, ist  $\lambda = 0,4cm$ . Auch nach längerer Suche konnte ein Fehler nicht gefunden werden. Wieder fehlt uns ein Faktor 10 um zum Literaturwert zu gelangen - diesmal allerdings in die andere Richtung als in Aufgabe 1. Immerhin ist das Bild sehr gut als Fraunhoferbeugungsbild zu erkennen; man erkennt deutlich die Nebenmaxima. (Anm. Es hätte hier keinen Sinn gemacht, die theoretische Kurve für die Wellenlänge von 3cm einzuzichnen, da diese *sehr* weit weg von den obigen Kurven ist; man sähe nicht einmal Nebenmaxima)

Nun führten wir den gleichen Versuch für den Doppelspalt durch. Für die Intensitätsverteilung für den Doppel-/Mehrfachspalt (Gitter) ergibt sich:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \frac{\sin^2(x)}{x^2} \cdot \frac{\sin^2(N \cdot y)}{\sin^2(y)} \quad (4)$$

mit

$$x = \frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \theta \quad \text{und} \quad y = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot \sin \theta \quad (5)$$

wobei  $b = 3,8cm$  die Breite der Spalte bezeichne und  $d = 7,6cm$  den Spaltabstand.

Auch hier werden wir wieder die Y-Achse normieren und dann die Wellenlänge entsprechend anpassen:

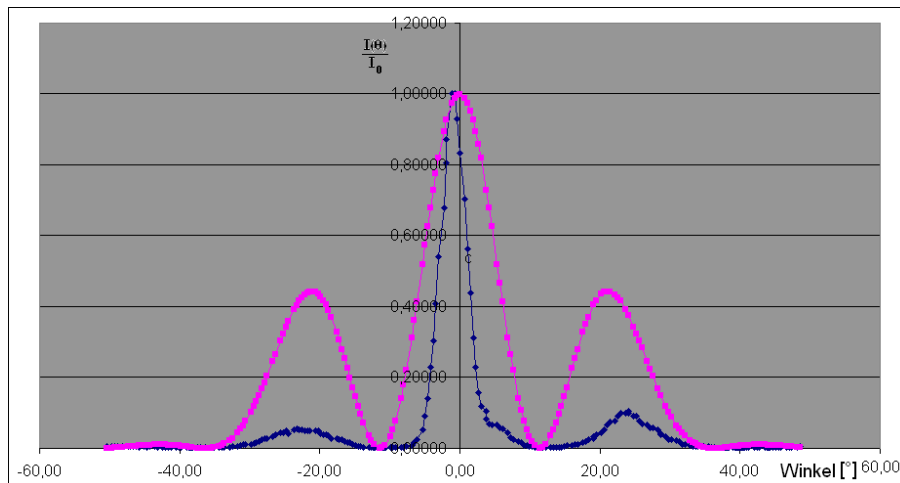


Abb.6: Fraunhoferbeugung am Doppelspalt

Diese Kurve ist angepasst für den Literaturwert von  $\lambda = 0,03 cm$ . Dabei ist leider anzumerken, dass die Kurve natürlich nicht wirklich schön der Theoretischen entspricht. Immerhin sind die Nebenmaxima an der richtigen Stelle, auch wenn die Breite nicht der Kurve nicht so ist, wie sie sein sollte. Auch ist eine Fehlersuche erfolglos geblieben - die Messwerte sind, wie sie sind.

Es verbleibt noch die Betrachtung eines Gitters, wir wählten den Fünffachspalt ( $b = 3,2\text{cm}$  und  $d = 6,4\text{cm}$ ).

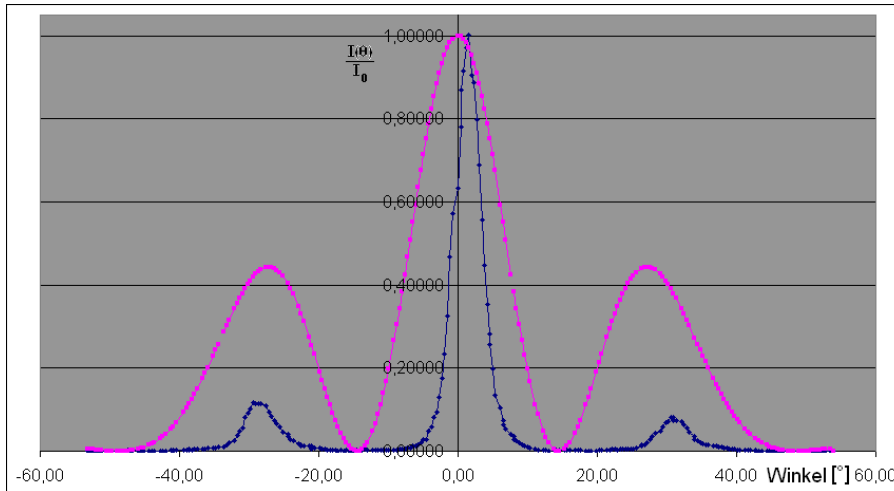


Abb.7: Fraunhoferbeugung am Fünffachspalt

Auch hier ist wieder eine Kurve, die ähnliche Probleme aufweist wie die zuvor. Die Position der Maxima stimmt für den Wert  $\lambda = 3,2\text{ cm}$  sehr gut mit der Theorie überein. Jedoch ist die Fläche unter der Kurve deutlich kleiner. Auch hier fanden wir wieder keinen Fehler; unter Umständen müsste die Systematik der Normierung verändert werden. Allerdings war das Ziel ja nur die Herstellung der Fraunhoferform und die Bestimmung der Wellenlänge - beides ist geglückt.

## 5 Interferometer

In dieser Aufgabe sollten wir uns ein recht schlichtes Interferometer bauen, wofür zwei Plexiglasplatten in den Strahlengang eingebracht wurden. Die Platten wurden planparallel aufgestellt und zwar so, dass sie mehr oder weniger senkrecht auf dem einfallenden Strahl standen. Der Grund für die Verwendung von Plexiglas ist der, dass bei diesem Material Reflexions- und Transmissionskoeffizient annähernd gleich sind, d.h. die Hälfte der Wellen wird reflektiert, die andere Hälfte durchgelassen. Das hat zur Folge, dass ein auftreffender Strahl geteilt wird: die eine Hälfte passiert das Material, während die andere an die benachbarte Plexiglasplatte zurückgeworfen wird. Hier findet natürlich der gleiche Prozess statt, usw. Das Resultat ist, dass wir hinter der zweiten Platte den ursprünglich transmittierten Strahl und einen Strahl, der zweimal reflektiert und dann transmittiert wurde, vorfinden. Diese beiden Strahlen können nun miteinander interferieren. Natürlich finden wir auch noch Strahlen anderer Ordnung hinter der Platte, die Reflektion ist ja nicht nur auf einmal beschränkt. Wir nehmen allerdings an, dass die Intensität der 2. und höherer Ordnungen vernachlässigbar ist. Eine Skizze des Interferometers wurde bereits in der Vorbereitung gezeichnet. Mit diesem Aufbau lässt sich nun wieder die Wellenlänge bestimmen:

- *Intensitätsminima* (also konstruktive Interferenz):

Da der zusätzliche Weg, den der zunächst reflektierte Strahl durch das Interferometer gerade zweimal dessen Dicke  $d$  ist, ist die Bedingung für eine konstruktive Interferenz, dass dieser Gangunterschied ein Vielfaches der Wellenlänge ist. Somit gilt ( $n$  bezeichne die Ordnung des Maximums):

$$\lambda = \frac{2 \cdot d}{n} \quad (6)$$

- *Intensitätsminima* (also destruktive Interferenz):

Um sich auszulöschen, müssen die Wellen gerade einen Gangunterschied des Vielfachen einer halben Wellenlänge haben. Somit gilt für die Minima:

$$\lambda = \frac{4 \cdot d}{2 \cdot n - 1} \quad (7)$$

Wir bauten das Interferometer also auf, es war eine lineare Anordnung mit Quelle, 1. Plexiglasscheibe, 2. Plexiglasscheibe und Empfänger. Der eine Kanal von CASSY war wieder für die Aufnahme der Spannung, also Intensität verantwortlich, mit dem anderen Kanal wurde wieder über die Umlenkrolle die Bewegung der Plexiglasplatte gemessen. Unsere Messergebnisse sind die folgenden:

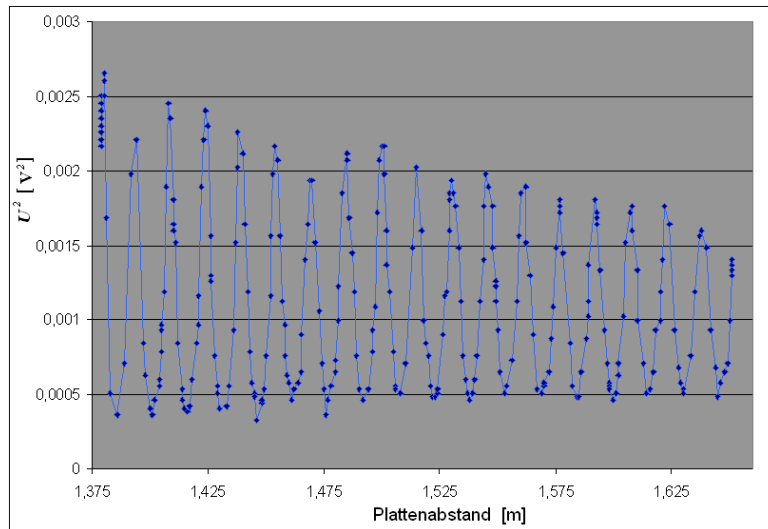


Abb.8: Interferometer

Hier sind wir nun endlich bei einer messtechnisch hochklassigen Aufgabe angelangt, denn bestimmen wir nun die Wellenlänge aus den Maxima, so ergibt sich ein gemittelter Wert von  $\lambda = 3,01 \text{ cm}$ , also einer Abweichung von gerade mal 0,4%. Somit scheint uns, dass das Interferometer doch bessere Ergebnisse liefert als angenommen, trotz des vergleichsweise leichten Aufbaus. (Anm.: die Skalierung der X-Achse ergibt sich daher, dass als Nulllage die nicht veränderte Platte verwendet wurde.)

## 6 Polarisation der Mikrowellenstrahlung

Diese Aufgabe konnte aufgrund eines defekten Messgeräts leider nicht durchgeführt werden. Es sei aber als Zeichen des guten Willens immerhin die theoretische Kurve, die der Formel

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \cos^2(\alpha) \quad (8)$$

folgt, gezeichnet:

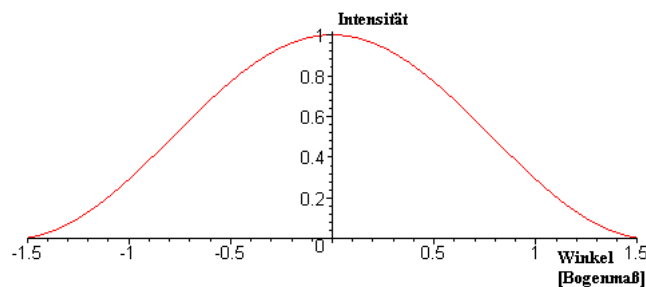


Abb.9: theoretischer Verlauf

Diesen Verlauf hätten wir erwartet, wenn wir den Empfänger zunächst so gedreht hätten, dass die Intensität maximal wird (entspreche  $\alpha = 0$ ) und dann drehwinkelabhängig die registrierte Intensität aufgetragen hätten. Bei einer Drehung von  $90^\circ$  (etwa 1,57 im Bogenmaß) hätte sich für linear polarisiertes Licht dann natürlich (nach der Definition der Nulllage) ein Minimum ergeben.



## 7 Absorptionsvermögen

In diesem Versuch rein phänomenologischer Natur sollte untersucht werden, wie Glas, Plexiglas und das Paraffin der Linsen die Mikrowellenstrahlung absorbiert. Das Vorgehen war recht schlichter Natur - wir stellten Quelle und Empfänger unmittelbar voreinander und schlossen den Spannungskanal an CASSY an. Dann maßen wir vorbereitend die Spannung ohne ein Hindernis in Strahlungsrichtung, bzw. mit dem wenig hinderlichen Hindernis Luft. Danach wurden nacheinander die einzelnen Materialien zwischen Quelle und Empfänger platziert und ebenfalls die Spannung gemessen. Das Absorptionsvermögen ergibt sich dann als prozentualer Anteil des absorbierten Teils der Strahlung. Es ergaben sich folgende Messwerte:

Material	$U$ (mit Hindernis) [V]	proz. Absorption
Luft	1,504	:= 0
Plexiglas	1,371	8,84
Glas	0,510	66,10
Paraffin	1,673	(*)

Hierbei ist natürlich zuerst anzumerken, dass der Wert für Paraffin höher ist als der Wert ohne ein Hindernis. Dies liegt aber an der eher fragwürdigen Aufgabenstellung - immerhin lag das Paraffin nicht in Form einer Platte (wie beim Glas und Plexiglas), sondern in Form einer Linse, so dass die Strahlung auf den Empfänger fokussiert wird. Somit ist dieses Ergebnis nicht sehr aussagekräftig und eine Absorptionsangabe natürlich sinnlos (\*).

Auch sollte noch ein Vergleich mit sichtbarem Licht gezogen werden. Hier ist der Unterschied offensichtlich: Glas absorbiert sehr viel Mikrowellenstrahlung, während es für sichtbares Licht sehr gut passierbar ist. Plexiglas ist nicht ganz so durchsichtig wie Glas, lässt aber dafür auch sehr viel Mikrowellenstrahlung durch. Paraffin zeigt die zu Glas inversen Eigenschaften - für sichtbares Licht undurchdringlich, können Mikrowellen problemlos passieren.

## 8 Intensitätsmessung und optischer Tunneleffekt

Nun sollte der sogenannte optische Tunneleffekt untersucht werden. Dazu brachten wir zwei planparallele Zuckerprismen in den Strahlengang, der wieder nur aus Quelle, den Prismen und dem Empfänger bestand. Um die Planparallelität zu erreichen, wurden kleine Abstandshalter zwischen die Prismen geklemmt. Wenn beide Abstandshalter nicht herunterfielen, dann wussten wir, dass die Prismen in etwa parallel waren. Auch war darauf zu achten, dass die Strahlen senkrecht auf die Flächen des vorderen Prismas auftrafen. Die Messsituation war also folgende:

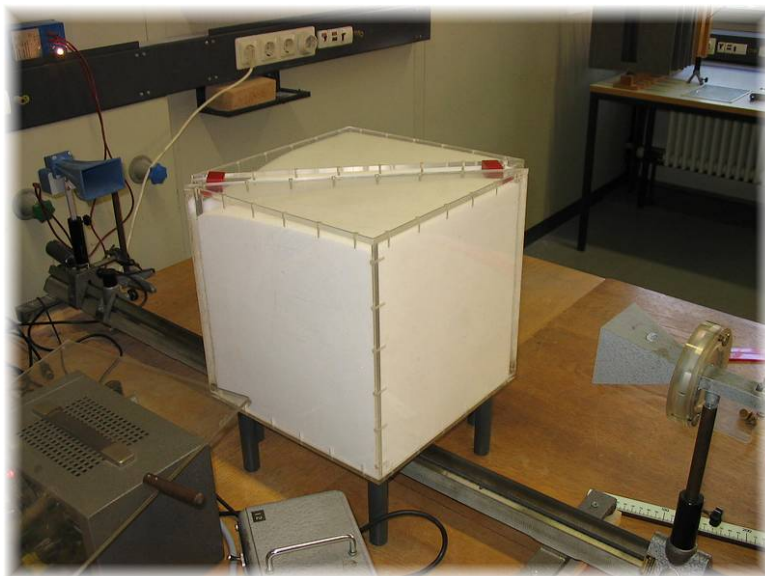


Abb.10: Messaufbau

Der hier zu beobachtende Effekt ist dieser: Trifft der Strahl auf die Hypotenuse des ersten Prismas, so wird er eigentlich total reflektiert. Ein Teil der Strahlung kann jedoch bei geringem Abstand der Prismen in das zweite Prisma *tunneln* und sich dort weiter ausbreiten. Wir messen nun die Intensität der Strahlung als Funktion des Abstandes der Prismen:

Dicke [cm]	Spannung $U$ [ $10^{-2}$ V]	$U^2$ [ $10^{-4}$ V <sup>2</sup> ]
0,1	3,30	10,9
0,1	3,45	11,9
0,1	3,30	10,9
0,2	4,35	18,9
0,2	4,20	17,6
0,2	3,60	13,0
0,4	3,15	9,92
0,4	3,15	9,92
0,4	3,00	9,00
0,8	1,80	3,24
0,8	1,65	2,72
0,8	1,65	2,72
1,6	1,05	1,10
1,6	1,05	1,10
1,6	0,90	0,81
3,2	0,30	0,09
3,2	0,60	0,36
3,2	0,75	0,56

Da wir einen exponentiellen Verlauf erwarten, tragen wir die Werte logarithmisch auf:

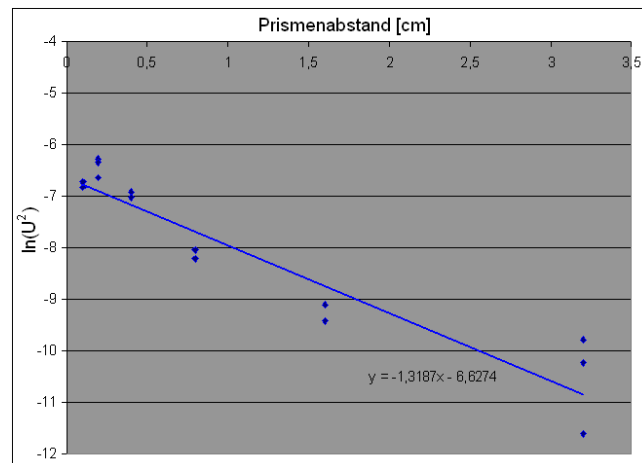


Abb.11: logarithmische Auftragung

Aus der Geradensteigung entnehmen wir also:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-1,32 \frac{1}{cm} \cdot x} \quad (9)$$

wobei  $x$  den Abstand der Prismen bezeichne. Die Reichweite  $x_R$  der Strahlung ergibt sich nun definitionsgemäß als die Strecke, nach der die Intensität auf  $\frac{1}{e}$  ihrer ursprünglichen Stärke gefallen ist. Somit gilt:

$$\frac{1}{e} \cdot I_0 = I_0 \cdot e^{-1,32 \cdot x_R} \quad (10)$$

Auflösen nach  $x_R$  ergibt dann:  $x_R = 0,76 \text{ cm}$  Dieser Wert entspricht somit recht genau einem Viertel der verwendeten Wellenlänge. Es zeigt sich somit erwartungsgemäß, dass es nur für recht kleine Abstände eine gute Tunnelmöglichkeit gibt. Betrachten wir am Ende noch, ob unsere Annahme des exponentiellen Abfalls überhaupt berechtigt war:

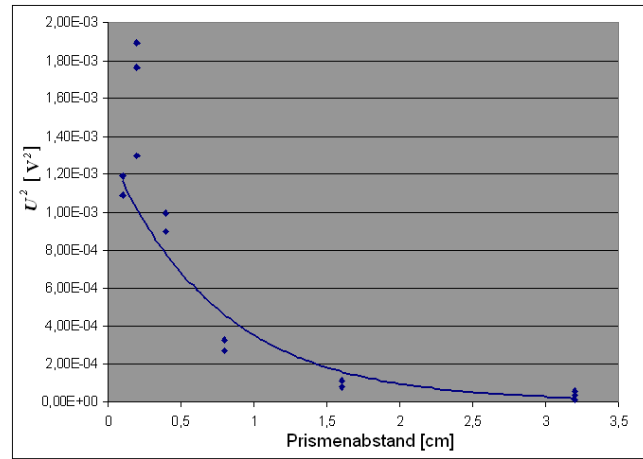


Abb.12: exponentieller Abfall

Wir sehen also einen recht deutlichen exponentiellen Abfall, etwas störend sind nur die Messwerte für 0,2cm, denn diese sind etwas zu groß ausgefallen.