

Physikalisches Praktikum 1

Versuch Mi 1
Mikrowellen

Verfasser:

Moritz Schubotz

Betreuer:

Sebastian Weber

Abgabetermin:

0 Ausgangssituation

Ziel des Versuches ist es, die Mikrowellenstrahlung zu untersuchen.

0.1 Über Mikrowellen

Unter Mikrowellen versteht man elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz im Bereich von circa 1 GHz bis ein THz. Über den Zusammenhang, von Schallgeschwindigkeit Wellenlänge und Frequenz kann man leicht feststellen, dass die Wellenlänge dieser Mikrowellen in der Größenordnung von Zentimetern liegt. Man darf diese Wellenformen aber trotzdem mit Lichtquellen vergleichen. In unserem Versuch werden die Mikrowellen mittels einer Gunn-Diode erzeugt.

0.2 Zum theoretischen Hintergrund

Als Ausgangspunkt verwenden wir die Wellengleichung im vierdimensionalen Raum:

$$\square u = 0 \quad \text{mit} \quad \square \equiv \Delta - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \quad [1]$$

Als nächsten Schritt transformieren wir die homogenen Maxwell Gleichungen in ein ähnliches Format:

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} = 0 \quad [2]$$

Löst man diese Gleichung so erhält man 2 linear unabhängige orthogonale Funktionen, die man als elektrisches und magnetisches Feld interpretieren kann:

$$\vec{E}(\vec{x}, t) = \vec{\varepsilon}_1 \cdot E_0 \cdot e^{i(\vec{k}\vec{x} - \omega t)}, \quad B(\vec{x}, t) = \vec{\varepsilon}_2 \cdot B_0 \cdot e^{i(\vec{k}\vec{x} - \omega t)} \quad [3]$$

Mit \vec{x} , dem Ortsvektor, \vec{k} dem Wellenzahlvektor und ε_1 und ε_2 (reellen konstanten Vektoren) Selbstverständlich wird für das Experiment nur der Realteil Lösung betrachtet. Weiterhin gilt für die Konstanten ε_0, μ_0 die Beziehung: $c^{-2} = \varepsilon_0 \mu_0$. Stellt man die Wellengleichungen für die inhomogenen Maxwell Gleichungen da, so kann man leicht die Phasengeschwindigkeit berechnen. $v_{Phase} = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$.

Durch diese Phasengeschwindigkeit wird der Brechungsindex definiert:

$$n = \frac{v_{Vakuum}}{v_{Phase}} = \frac{c}{v_{Phase}} = c \cdot \sqrt{\mu \cdot \varepsilon} \quad [4]$$

Weiterhin gilt die Dispersionsrelation:

$$-k^2 - \mu\varepsilon\omega^2 = 0 \quad \text{bzw. mit Brechungsindex:} \quad -k^2 + \frac{n^2}{c^2}\omega^2 = 0$$

Physikalisches Praktikum 1

Versuch Mi 1 - Mikrowellen

für die Ausbreitung von Wellenfronten ist folgendes Brechungsgesetz wichtig.

$$\frac{\sin \Theta_i}{\sin \Theta_t} = \frac{k''}{k} = \frac{\omega \cdot n_2}{c} \cdot \frac{c}{\omega \cdot n_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Die totale Reflexion erhält man ab dem Winkel: $\Theta_T = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$

0.2.1 Zum Brewsterwinkel:

Winkel, bei dem von einfallendem unpolarisiertem Licht nur die senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Anteile reflektiert werden.

Daraus folgt mit dem Brechungsindex, dass der Brewsterwinkel sich wie folgt ergibt:

$$\tan \alpha_{\text{Brewster}} = n \quad \text{bzw.} \quad \alpha_{\text{Brewster}} = \arctan n$$

0.2.2 Zur Polarisation

Betrachte Licht als Ebene elektromagnetische Welle. i.A. 2 unabhängige harmonische Oszillatoren in x,y Ebene (bei Ausbreitung in Z-Richtung)

Man kann jedoch bestimmte Anteile aus dem Licht herausfiltern, dann erhält man linear polarisiertes Licht (ebene Wellenfronten) oder zirkular polarisiertes Licht.

Der Polarisationsfilter ist z.B. eine Plastikfolie (Gitter). Dieser Filter erzeugt linear polarisiertes Licht. Zur Erzeugung von zirkular polarisiertem Licht wird ein Lambda-Viertel-Plättchen

**Abbildung 2 zirkular
polarisiertes Licht**

verwendet.
Dies gilt auch für Mikrowellen

**Abbildung 1 linear
polarisiertes Licht**

0.3 Inhalt

0	Ausgangssituation.....	2
0.1	Über Mikrowellen	2
0.2	Zum theoretischen Hintergrund.....	2
0.2.1	Zum Brewsterwinkel:	3
0.2.2	Zur Polarisation	3
0.3	Inhalt.....	4
1	Wellenlängenbestimmung.....	5
1.1	Messung	5
2	Sammellinse	7
2.1	Messdaten	7
3	Totalreflexion.....	8
4	Polarisation.....	9
4.1	Drehwinkel zwischen Sender und Empfänger	9
4.2	Schräges Metallgitter.....	9
5	Brewsterwinkel	10
6	Optisch aktive Substanzen	12
Anhang A	Bildquellen	13

1 Wellenlängenbestimmung

Der Versuchsaufbau ist wie folgt:

der Mikrowellensender wird angeschlossen. Demgegenüber wird ein Reflexionsschirm im Abstand von circa 30 bis 40 cm aufgestellt. So entsteht eine stehende Welle. Zwischen Sender und Schirm wird einer Empfängerdiode platziert. Variiert man den Abstand des Reflexion, so wird sich die stehende Welle verschieben. Dadurch wird es möglich sein an der Diode minimal maximal zu registrieren. Der Abstand von einem extrem um zum nächsten vom gleichen Typ ist die Wellenlänge. Für die Fehler Rechnung gilt folgendes:

$$\Delta\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta d}{n}$$

Wählt man den Nullpunkt als Messpunkt, so muss beachtet werden, dass dieser Pumpen mit positiver sowie negativer Intensitätsableitung existiert. Selbstverständlich darf nur eine Art von null Punkten betrachtet werden, oder man erhält einen um den Faktor zwei verringertes Ergebnis.

1.1 Messung

Tabelle 1 Messergebnisse, durch das Verschieben der Reflektionsplatte um die Strecke d.

Name	Einheit	Wert
Lambda	cm	2,8

Eingestellt		Gemessen				Gemessen				Theorie
Einheit	s	Einheit	cm	%	cm	Einheit	mV	%	mV	
Name	Ordnung	Name	Min	frel	fabs	Name	Umin	frel	fabs	OK
n	0	d	0	5%	0,1	U	14	2%	0,28	WAHR
n	1	d	1,3	8%	0,1	U	21	2%	0,42	WAHR
n	2	d	2,8	4%	0,1	U	25	2%	0,5	WAHR
n	3	d	4,1	2%	0,1	U	32	2%	0,64	WAHR
n	4	d	5,7	2%	0,1	U	36	2%	0,72	WAHR
n	5	d	7	1%	0,1	U	32	2%	0,64	WAHR
n	6	d	8,4	1%	0,1	U	38	2%	0,76	WAHR
n	7	d	9,9	1%	0,1	U	37	2%	0,74	WAHR

Man sieht das sich schon bei kleinen Werten für N., spricht die Ordnung des Maximum, gute Ergebnisse erzielen lassen. Alle aufgenommenen Messwerte (minimal) liegen im Bereich ihres eigenen Fehlers. Zeichnet man die Daten in ein Diagramm so kann man schnell erkennen, dass es sich um einen rein linearen Zusammenhang handelt

Physikalisches Praktikum 1 Versuch Mi 1 - Mikrowellen

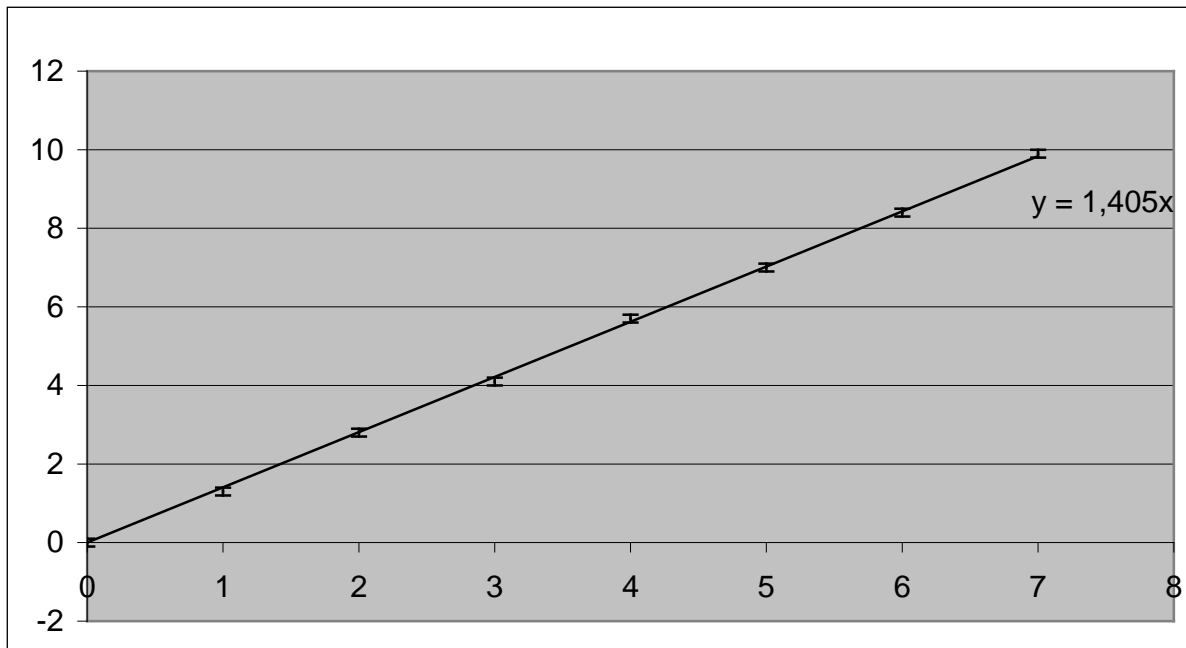


Diagramm 1 Bestimmung der Wellenlänge von Mikrowellen

zeichne man hierdurch eine Ausgleichsgerade so wird man feststellen, dass für eine Steigerung von 1,405 X. der quadratische Abstand zu den Messwerten am geringsten ist. Multipliziert man diesen Wert mit zwei so erhält man eine Wellenlänge von 2,81 cm. Dieses korreliert mit dem Hersteller Angaben von 2,8 cm. Damit wird diese Messung, die Messung der Wellenlänge, als erfolgreich angesehen.

2 Sammellinse

Im folgenden Versuch sollen die Eigenschaften einer Sammellinse für Mikrowellen untersucht werden. Hierzu wird die Intensitätsverteilung mit einem Horn Empfänger gemessen. Die Messung erfolgt orthogonal zur Strahlrichtung. Abschließend werden die Werte für die Messung mit und ohne Linse verglichen.

2.1 Messdaten

Als erstes wird folgender Aufbau betrachtet: im Abstand von 50 cm befindet sich die Linse: Die Messung liefert von vornherein ein sehr eindeutiges Ergebnis: man kann ohne Probleme verifizieren dass die Linse ein Brennpunkt im Abstand von einem Meter Brennweite hat. Dieser liegt dann auf der "Mikrowellenachse"¹. Quantitativ wird ein Ausschlag von $30\mu\text{A}$ bei 1,50 von dem Sender verzeichnet dieser Ausschlag ist nur in einem kleinen Raumwinkelemente zu messen. Entfernt man die Linse aus diesem Versuchs Aufbau so wird lediglich ein Ausschlag von $7\mu\text{A}$ verzeichnet.

Betrachtet man einen anderen eine Aufbau, bei dem die Messung in 1 m Abstand durchgeführt wird und auf den Einsatz einhellig Linse vollkommen verzichtet werden kann. Bei diesem Versuchs Aufbau stellt man fest, dass der Ausschlag im Messebereich und in einer kontinuierlichen Umgebung einen Wert von $10\mu\text{A}$ annimmt.

Einen Fehler Rechnung und Fehlerbetrachtung ist für diesen Versuchsteil nicht durchgenommen, da dieser Teil als qualitativ zu bewerten ist.

¹Analogen zu optischen Achse

3 Totalreflexion

in diesem Versuch werden die Erscheinungen rund um die Totalreflektion untersucht. Aus der Theorie weißer folgendes:

Eine Totalreflexion findet statt, wenn die Bedingung $1 < \frac{n_2}{n_1} \sin\phi_2$ erfüllt ist. Da $\frac{n_2}{n_1} = 1.5$ vorgegeben ist, läßt sich damit ein Winkel für die Totalreflexion von 41.8° berechnen. Das Brechungsgesetz $n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2$ ist eine Näherung, welche im letzten Teil dieses Versuchsteils deutlich wird. Da hier noch Wellen grade durch das Prisma laufen wenn sich in Abstand von ca. 1cm (in diesem Falle) ein anderes Prisma befindet welche zusammen einen Quader bilden.

In dem folgenden Versuch wird der Sender auf das Wachsprisma gerichtet. Anschließend wird die Intensität auf der Seite senkrecht zur Mikrowellenachse, sowie auf der Mikrowellenachse hinter dem Prisma gemessen. In späteren Teilen wird das Prisma durch ein weiteres Prisma, wobei sich die Hypotenusen gegenüber liegen.

Tabelle 2 Messwerte

	a	A	B
Einheit	cm	μA	μA
(a)	#NV	10	0
(b)	0,00	0	10
(c)	0,40	2	8
(c)	0,60	10	2
(c)	1,20	6	0

Die Messwerte wurden entsprechend der rechts stehenden Abbildung in die Tabelle eingetragen. Zusammenfassend kann ausgesagt werden das in Teil A. die gesamte Strahlung senkrecht zur Hauptachse ausgesandt wird. In B. legte die gesamte Strahlung transmittiert. Wird der Spalt weiter geöffnet, so stellt man fest das an beiden Empfängern Strahlung ankommt. Hieraus kann geschlossen werden

Abbildung 3 Versuchsaufbau

das das erste Prisma

nicht widerlich Versuch eins impliziert jegliche Strahlung in Richtungshauptachse absorbiert. Weiterhin wird beobachtet dass die Verteilung der Intensitäten inzwischen A und B wesentlich vom Abstand a abhängt. Leider ist die Qualität der Messwerte, sowie die Möglichkeit den Abstand A. genau zu bestimmen in diesem Versuch nicht möglich. Deswegen kann an dieser Stelle keine quantitativen Aussage getroffen werden.

4 Polarisation

4.1 Drehwinkel zwischen Sender und Empfänger

Der Empfänger wird gegenüber vom Sender aufgebaut und um 180° gedreht.

Dabei wird folgende Messung aufgenommen:

Tabelle 3

$^\circ$	10 mV
0	58
10	58
20	57
30	56
40	54
50	46
60	34
70	24
80	16
90	1
100	16
110	38
120	46
130	51
140	54
150	56
160	57
170	57
180	58

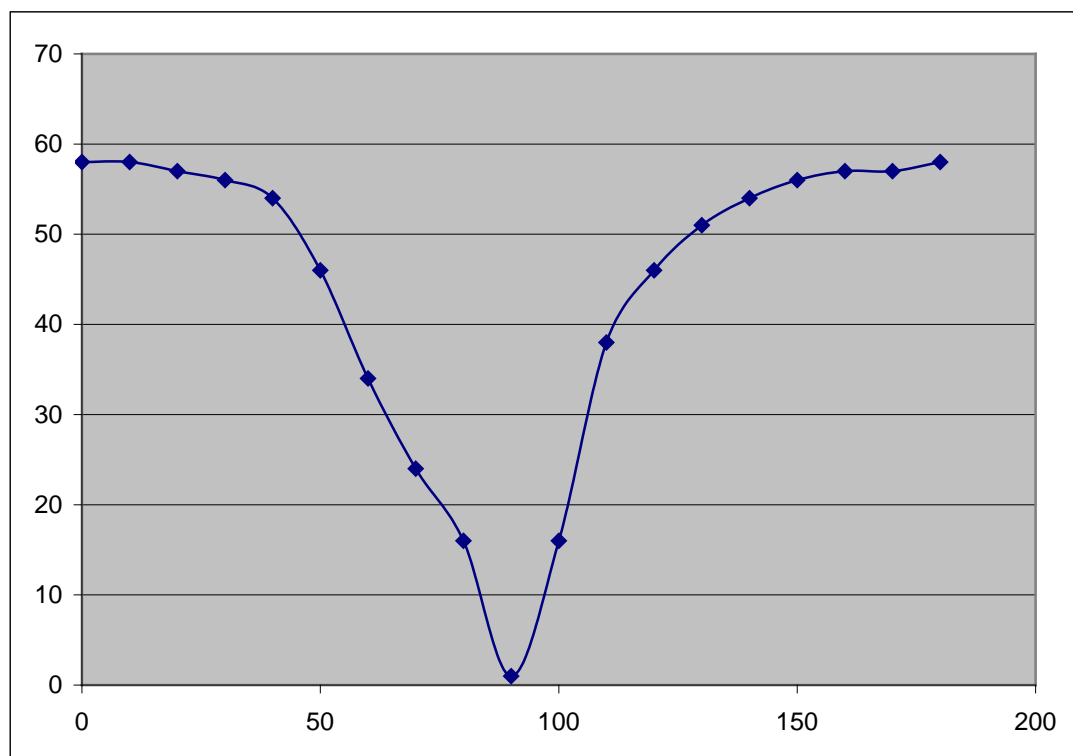


Diagramm 2

Die aufgenommene Kurve entspricht den Erwartungen. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Messwerte verständlich fehlerbehaftet sind. Für die Angabe der Art kann ein Fehler von plus minus zwei bis 3° angenommen werden. Für die Messung der Spannung wird ein Fehler von 2% angenommen. Bemerkung: Die letzte letzte Stelle der Spannungsmessung wurde nicht angegeben. Zu beachten ist auch das in die Einheit 10 mV beträgt.

4.2 Schräges Metallgitter

Ein Metallgitter wird im 45° Winkel zur Polarisationsrichtung aufgestellt. Der Empfänger wird in einen Winkel von 90° zur Polarisationsrichtung hinter dem Metallgitter aufgestellt. Wir beobachten wie das Metallgitter die Intensität des eingefallenen Strahls verändert. Es wird festgestellt das anstatt der üblichen 10 mV ankommender Intensität nun 55 mV ankommen. Das entspricht in etwa dem Wert für 45° , was knapp 90% der maximalen Intensität entspricht.

5 Brewsterwinkel

Wir stellen den Empfänger senkrecht zum Sender auf. Nun variieren wir den Winkel der Linse.
 Wir suchen die Stelle, an der ein Minimum auftritt.

Tabelle 4

Richtung	0	90
0	2	14
10	70	80
20	74	50
30	57	13
40	250	68
50	480	81
60	500	56

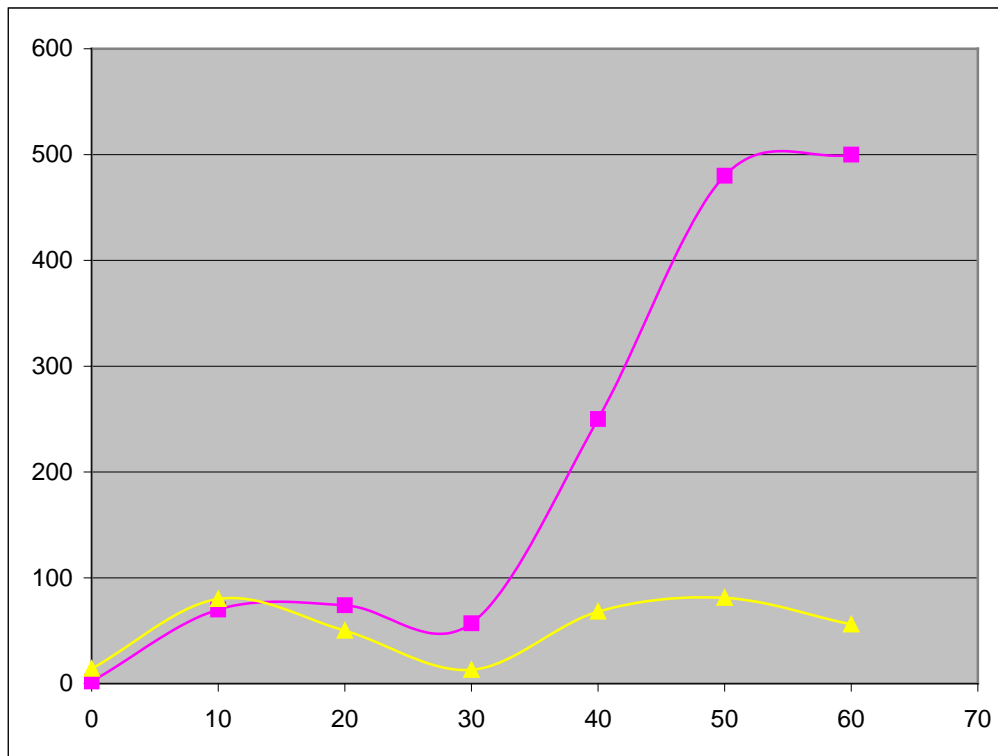


Diagramm 3

dieses Diagramm kann lediglich eine Abschätzung für den Brewsterwinkel geben. Dies liegt am Versuchs Aufbau der große Fehler impliziert. Im Diagramm sind keine Fehlerbalken, aber es kann ein Fehler von 2% bei den Intensitäten und von 5° bei den Winkeln angenommen werden. Trotzdem ist es möglich zu bestimmen, dass die Intensität bei je 30°, sprich 60° maximal wird. Nimmt man die Formel aus dem Theorie Teile und verwendet den gegebenen Brechungsindex

Physikalisches Praktikum 1

Versuch Mi 1 - Mikrowellen

von 1,5 erhält man den theoretischen Wert von $56,3^\circ$. Aufgrund der großen Fehler kann deshalb diese Messung als gelungen betrachtet werden. Zu bemerken ist dennoch das der hohe einschlägige Intensität bei den senkrecht zur Reflektion ebener ausgerichteten Strahlen wahrscheinlich daher rührt, dass einige Strahlen ohne einen der VAX Platte reflektiert zu werden vom Empfänger registriert werden. Im Nachhinein kam die Idee auf zwischen Sender und Empfänger einer Metallplatte zu stellen, so dass der direkte Strahlengang unterbunden wird. Leider kann diese Idee nun nicht mehr in die Tat umgesetzt werden. Es ist jedoch zu erwarten dass die hohen Werte damit verschwinden.

6 Optisch aktive Substanzen

In diesem Versuchsteil werden Styropor® - Platten zwischen Sender und Empfänger gehalten. Diese Platten enthalten Federn, die linksrum gewickelt sind. In der folgenden Meßreihen wird eine bestimmte Anzahl von Platten zwischen Sender und Empfänger positioniert. Es wird die Verschiebung des Minimums in Richtung verlosen Grad Angaben gemessen. Als Fehler für die Grad Angaben können 3° angenommen werden. Die Anzahl der Platten kann als fehlerfrei betrachtet werden. Selbst der Fehler durch die im Theorieteil besprochene Dispersionsrelation impliziert einen Fehler der so klein ist, dass er bei allen Messungen vernachlässigt werden kann.

Tabelle 5

Anzahl	min
8	10
7	9
6	8
5	5
4	2
3	1

Auch an in dieser kleinen Meßreihen kann der Effekte deutlich nachgewiesen werden. Das Experiment wird deshalb als gelungen angesehen.

Anhang A Bildquellen

Versuchsaufbauten Anleitungsheft

Oszillograph Digitalkamera