

Versuchsprotokoll O2

Mikrowellen

01.07.2015



Alexander Schlüter, Tobias Holthaus

Gruppe 23/mi

`alx.schlueter@gmail.com`

`holthaus.tobias@gmail.com`

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Versuch	2
2.1	Strahldivergenz	2
2.2	Wellenlänge	3
2.3	Brechungsindex von PVC für Mikrowellen	4
2.4	Totalreflexion	4
2.5	Bragg-Reflexion	5
3	Diskussion	6

1 Einführung

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge zwischen ca. 1 mm und 30 cm.

Gehen von einem Sender elektromagnetische Strahlen aus, so beschreibt die **Strahldivergenz** die Aufweitung des Strahlenbündels mit zunehmendem Abstand zum Sender. Sie wird angegeben durch den Winkel θ zwischen den äußersten Strahlen (bzw. dort, wo die Feldstärke auf 10 % des Maximums abfällt).

Eine **stehende Welle** ist eine Welle mit Knotenpunkten, an denen keine Auslenkung stattfindet. Sie kann erzeugt werden durch Reflexion, wobei die reflektierte Welle sich mit der einfallenden überlagert. Der Abstand von zwei Knotenpunkten entspricht der halben Wellenlänge.

Trifft eine elektromagnetische Welle aus einem Medium mit Brechungsindex n_1 auf eine Grenzfläche zu einem Medium mit Brechungsindex n_2 , so wird ein Teil reflektiert und ein Teil transmittiert. Die transmittierte Welle breitet sich in der durch die einfallende Welle und die Oberflächennormale auf der Grenzfläche aufgespannten Ebene aus. Die Winkel ϑ_1 der einfallenden und ϑ_2 der transmittierten Welle stehen über das Snelliussche Brechungsgesetz in Zusammenhang:

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 \quad (1.1)$$

Ist Medium 1 dichter als Medium 2, d.h. $n_1 > n_2$, so steht bei einem bestimmten Einfallswinkel ϑ_T die transmittierte Welle senkrecht zur Oberflächennormalen. Dieser Winkel heißt **Grenzwinkel der Totalreflexion** und er ergibt sich aus

$$\sin \vartheta_T = n_2/n_1 \quad . \quad (1.2)$$

Wird der Einfallswinkel noch flacher, d.h. $\vartheta_1 > \vartheta_T$, so wird die Welle vollständig reflektiert. Allerdings dringt die sog. evaneszente Welle in Medium 2 ein. Sie propagiert parallel zur Grenzfläche und nimmt exponentiell mit dem Abstand zu dieser ab.

Wird ein Medium 3 mit Brechungsindex n_3 nahe hinter Medium 2 gebracht, so erzeugt die evaneszente Welle eine Welle, die in Medium 3 propagiert. Dies nennt man **frustrierte**

Totalreflexion.

Fällt eine elektromagnetische Welle auf eine mehrschichtige Netzstruktur (z.B. ein Kristall oder ein Gitter aus Metallkugeln), so wird sie an den verschiedenen Schichten reflektiert. Die reflektierten Wellen überlagern sich mit Phasenunterschieden, die auf die unterschiedlich langen Wege zurückzuführen sind. Die **Braggsche Reflexionsbedingung** gibt an, bei welchen Glanzwinkeln α die von Netzebenen mit Abstand d reflektierten Wellen konstruktiv interferieren:

$$2d \sin \alpha = n\lambda \quad n \in \mathbb{N}^+ \quad (1.3)$$

2 Versuch

In den Versuchen sollten die in der Einleitung beschriebenen Phänomene bei Mikrowellen untersucht werden. Dazu standen ein Mikrowellensender und ein Empfänger zur Verfügung. Über eine Spannungsquelle konnte die Sendestärke geregelt werden und mit einem Spannungsmessgerät wurde eine Spannung gemessen, die proportional zur Intensität am Empfänger war.

2.1 Strahldivergenz

Um die Strahldivergenz zu bestimmen, wurde in vier verschiedenen Abständen zum Sender der Abstand zu beiden Seiten der optischen Achse bestimmt, an dem die Spannung beim Empfänger um ca. 10 % vom maximalen Wert abgefallen war. Mit Excel wurden je ein linearer Fit der vier Messpunkte zu beiden Seiten der optischen Achse durchgeführt. Der Öffnungswinkel errechnetet sich durch den arctan der Steigungen:

$$\theta = \frac{180^\circ}{\pi} (\arctan(0,24) + \arctan(0,261)) = (28,1 \pm 0,9)^\circ \quad (2.1)$$

Der virtuelle Quellfleck ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Regressionsgeraden zu (9,82 cm; 0,36 cm), d.h. er liegt ca. 9,82 cm vor und 0,36 cm rechts vom Sender.

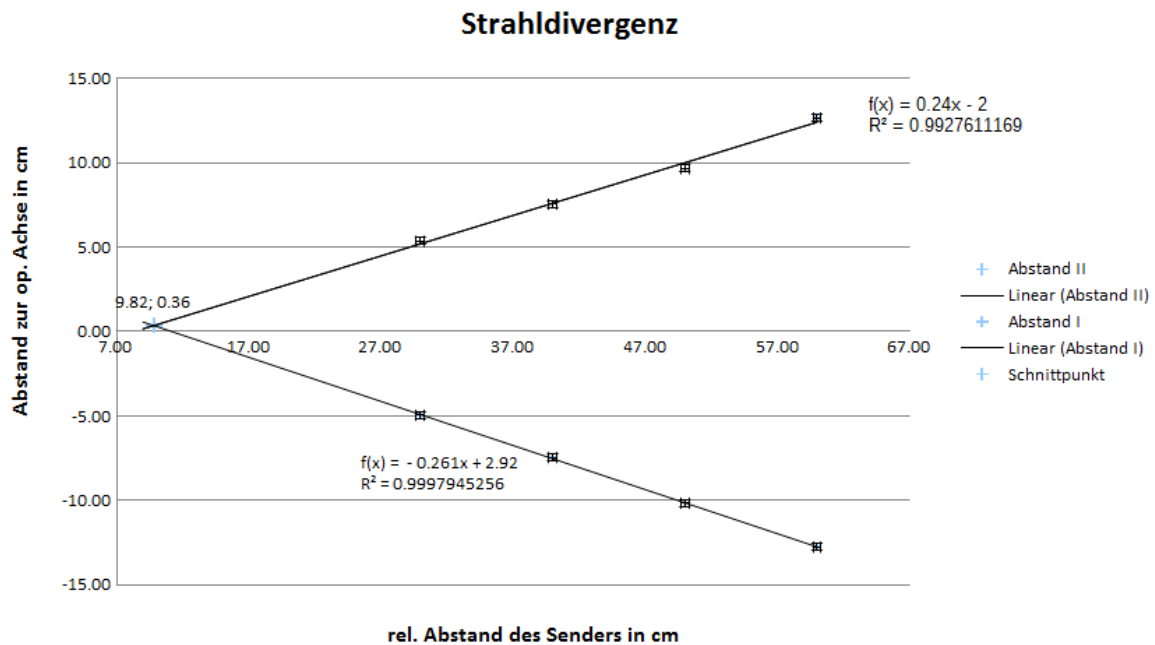


Abbildung 1: Strahlprofil des Mikrowellensenders in vier Entfernungen vom Sender bei Abfall der Empfängerspannung auf 10 % des Maximalwertes.

2.2 Wellenlänge

Es wurde eine Metallplatte in einem Abstand vor den Sender gestellt und somit eine stehende Welle erzeugt. Mit einem Stabempfänger wurden zwei aufeinanderfolgende Knotenpunkte, d.h. Minima der Spannung gesucht und der Abstand zwischen den beiden notiert. Dies wurde fünfmal durchgeführt.

Messung	Abstand d zwischen zwei Knoten in cm	Δd	Wellenlänge λ in cm	$\Delta \lambda$
1	1.45	0.2	2.9	0.4
2	1.55	0.2	3.1	0.4
3	1.55	0.2	3.1	0.4
4	1.5	0.2	3	0.4
5	1.65	0.2	3.3	0.4

Tabelle 1: Wellenlänge-Messung durch Abstandsmessung zwischen zwei Knoten einer stehenden Welle.

Aus dem Mittelwert bekommen wir $\lambda = (3,08 \pm 0,15) \text{ cm}$.

2.3 Brechungsindex von PVC für Mikrowellen

Die flache Seite eines PVC-Halbzyinders wurde aus fünf verschiedenen Einfallswinkeln ϑ_1 mit Mikrowellen beleuchtet und jeweils der Transmissionswinkel ϑ_2 gemessen. Dazu wurde der Empfänger auf der dem Sender gegenüberliegenden Seite des Halbzyinders bewegt, bis ein Spannungsaussschlag verzeichnet wurde. Der Brechungsindex wurde aus

Einfallswinkel ϑ_1 in grad	$\Delta \vartheta_1$	Transmissionswinkel ϑ_2 in grad	$\Delta \vartheta_2$	Brechungsindex n von PVC	Δn
9	1	4	1	2,243	0.022635
18	1	9	1	1,975	0.053164
27	1	14	1	1,877	0.118095
36	1	19	1	1,805	0.214736
45	1	24	1	1,783	0.344966

Tabelle 2: Brechungsindex von PVC für Mikrowellen durch Messung des Einfallswinkels ϑ_1 und des Transmissionswinkels ϑ_2 einer Welle.

dem Snelliusschen Brechungsgesetz (Gleichung (1.1)) bestimmt, wobei für Luft $n_1 = 1$ angenommen wurde. Der Mittelwert ist $n_{\text{PVC}} = 1,94 \pm 0,34$.

2.4 Totalreflexion

Nun wurde die runde Seite des PVC-Halbzyinders bestrahlt und der Einfallswinkel solange abgeflacht, bis keine transmittierte Welle mehr gemessen wurde. Nachdem die Totalreflexion erreicht war, wurde ein zweiter PVC-Halbzyylinder hinter den ersten gebracht und mit dem Empfänger die transmittierte Welle gesucht. Anschließend wurde die Intensität der transmittierten Welle bei verschiedenen Abständen zwischen den Halbzyindern gemessen.

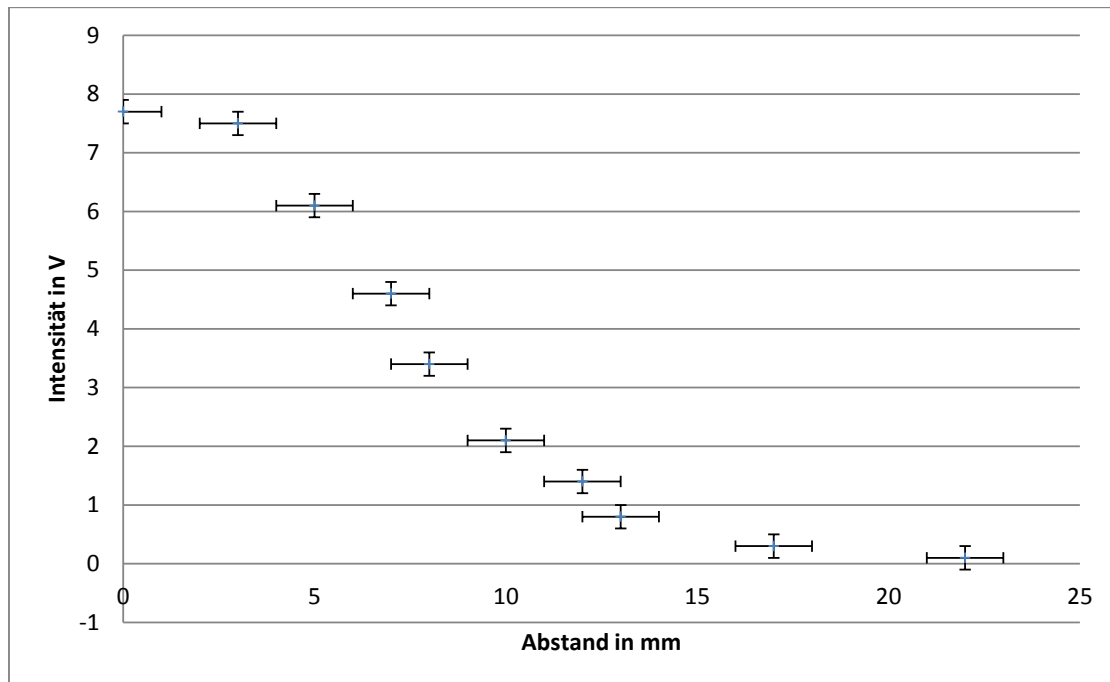


Abbildung 2: Frustrierte Totalreflexion: Intensität in Abhängigkeit der Lückenbreite.

2.5 Bragg-Reflexion

Ein Schaumstoffquader mit einem Gitter aus Metallkugeln, die zueinander den Abstand d haben, wurde in den Strahlengang gebracht. Abhängig vom Einfallswinkel wird die Intensität der reflektierten Welle (mit Ausfallswinkel=Einfallswinkel) gemessen.

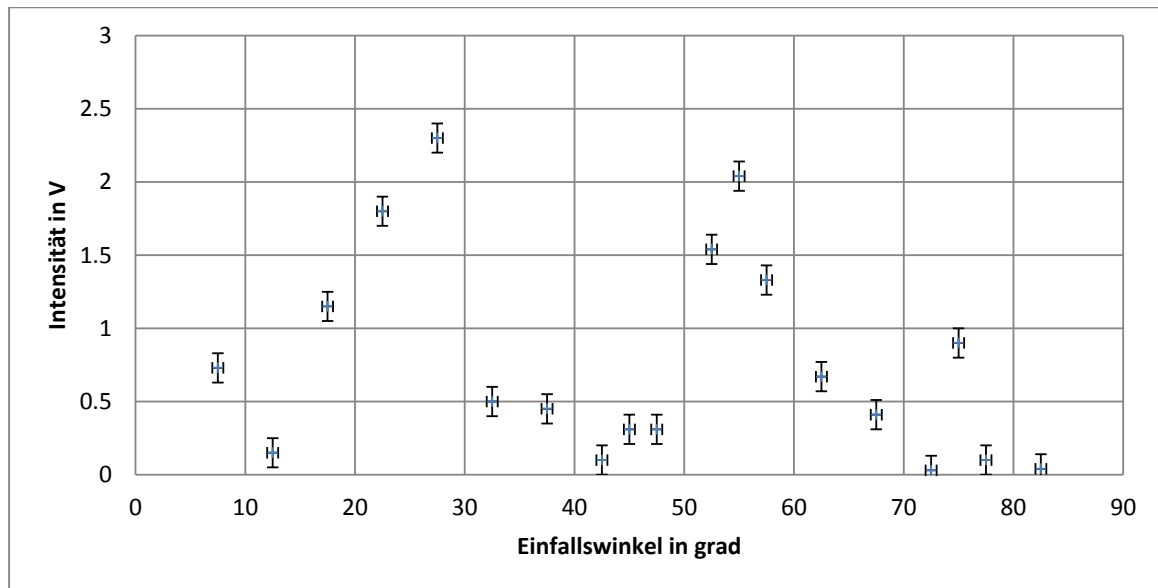


Abbildung 3: Intensitätsverteilung bei einer Bragg-Reflexion in Abhängigkeit vom Einfallswinkel auf das Gitter.

Die Maxima werden abgelesen und mithilfe von Gleichung (1.3) die Gitterkonstante bestimmt.

Gitterkonstante d/n in cm	n	Gitterkonstante d in cm	Δd
2.202391	2	4.4	0.9
-1.54038	3	4.6	1.3
-3.97131	1	4.0	0.5

Tabelle 3: Bestimmung der Gitterkonstante mit der von uns bestimmten Wellenlänge nach Gleichung (1.3).

Heraus kommt als Mittelwert $d = (4,3 \pm 0,9)$ cm.

3 Diskussion

Bei der Bestimmung der Strahldivergenz war wie erwartet ein linearer Zusammenhang zwischen Abstand zum Sender und Aufweitung des Strahls zu sehen. Der virtuelle Quellfleck lag fast auf der optischen Achse. Die Abweichung ist auf eine leicht schiefe Stellung von Sender oder Empfänger zurückzuführen.

Der Quellfleck lag 9,82 cm vor dem Sender. Hier ist zu beachten, dass der Abstand bezüglich der hinteren Wand des Senders gemessen wurde. Davor war ein Trichter angebracht, der den Strahl verformt haben könnte.

Die Wellenlänge konnte mit der Methode der stehenden Wellen mit geringem Fehler zu $\lambda = (3,08 \pm 0,15)$ cm bestimmt werden. Dies liegt tatsächlich im Bereich der Mikrowellen (vgl. Einführung).

Bei der Bestimmung des Brechungsindex von PVC fällt auf, dass für spitzere Winkel ein größerer Wert gemessen wurde. Möglicherweise liegt dies an der Strahldivergenz, da die einfallende Welle in der Realität nicht kollimiert ist.

In Abb. 2 konnte die evaneszente Welle über die frustrierte Totalreflexion mit dem zweiten Halbzylinder nachgewiesen werden. Zu sehen ist außerdem die exponentielle Abnahme mit zunehmendem Abstand.

Bei der Bragg-Reflexion konnten drei Maxima nachgewiesen werden. Über die vorher bestimmte Wellenlänge wurde die Gitterkonstante zu $d = (4,3 \pm 0,9)$ cm bestimmt. Der Fehler ist groß, da die genaue Position der Maxima schlecht abzulesen ist. Mit einem Geodreieck wurde $d = (3,8 \pm 0,1)$ cm nachgemessen, was gut mit dem Wert aus der Bragg-Reflexion übereinstimmt.

Literatur

Donath, Markus und Anke Schmidt. *Anleitung zu den Experimentellen Übungen zur Optik, Wärmelehre und Atomphysik*. Auflage Sommersemester 2015. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Physikalisches Institut, 2015.