

# Vorbereitung: Mikrowellenoptik

Axel Müller & Marcel Köpke  
Gruppe: 30

30.04.2012

# Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe 1: Wellenlängenmessung	4
2	Aufgabe 2: Intensitätsmessung	5
3	Aufgabe 3: Fresnel- und Fraunhofer-Beugung	6
4	Aufgabe 4: Einzel- und Doppelspalt	8
5	Aufgabe 5: Interferometer	9
6	Aufgabe 6: Polarisierung	10
7	Aufgabe 7: Absorptionsvermögen	11
8	Aufgabe 8: Tunneleffekt	12

# Einleitung

In diesem Versuch geht es um Wellenphänomene von Mikrowellen. Dies sind elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge zwischen 30 cm und 1 mm. Wir werden verschiedene Beugungsarten und -phänomene beobachten, den Begriff der Polarisation genau untersuchen und schließlich das optisch Tunneln nachweisen.

# 1 Aufgabe 1: Wellenlängenmessung

In diesem Versuch verwenden wir einen Sender vor einer Metallplatte. Dadurch werden für bestimmte Sender-Metallplatten-Abstände stehende Wellen erzeugt. Die Metallplatte ist ein Leiter und als solcher im Inneren feldfrei (zumindest für sich langsam ändernde Felder), da Felder zu Valenzladungsverschiebungen führen würden, die dem Feld solange entgegenwirken bis das Innere wieder feldfrei ist. Dadurch ist eine Metallplatte für die hier vorkommenden elektromagnetischen Wellen ein «festes» Ende. Am Auftreffpunkt der Welle kann also ein Knoten angenommen werden.

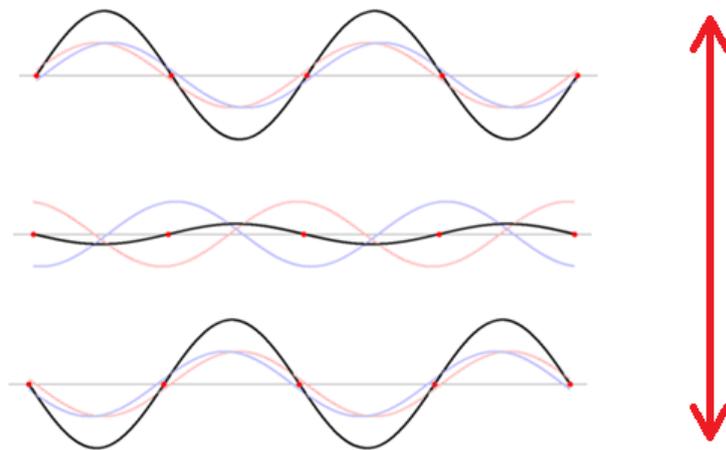


Abbildung 1.1: stehende Welle

Das feste Ende der Metallplatte reflektiert die Welle mit einem Phasensprung von  $\pi$  und lässt diese zurücklaufen. Durch Überlagerung entstehen nun eine stehende Welle. Die Knoten haben dann Abstände von  $\frac{\lambda}{2}$ . Durch Messung der Feldstärke können die Knotenpunkte, deren Abstände und damit die Wellenlänge bestimmt werden.

## 2 Aufgabe 2: Intensitätsmessung

Mit Hilfe des Datenanalyse-Tools «Cassy» messen wir nun die Intensität, der vom Sender emittierten Welle. Man erwartet eine periodische Schwingung, deren einhüllende eine  $\frac{1}{r}$ -Funktion ist, da wir über die Spannungsmessungen die Feldstärke und nicht direkt die Intensität messen können. Für die Intensität und die Feldstärke gilt nun aber:

$$E \sim \frac{1}{r}$$
$$I \sim \langle E^2 \rangle \sim \frac{1}{r^2}$$

Daher erwartet man eine  $\frac{1}{r^2}$  Abhängigkeit für die Intensität.

### 3 Aufgabe 3: Fresnel- und Fraunhofer-Beugung

In diesem Versuch sollen Beugungsphänomene am Einzelspalt veranschaulicht werden. Dabei werden elektromagnetische Wellen auf einen Einzelspalt geschickt. Das entstehende Beugungsbild kann in 3 Zonen eingeteilt werden (siehe Abbildung 3.1<sup>1</sup>):

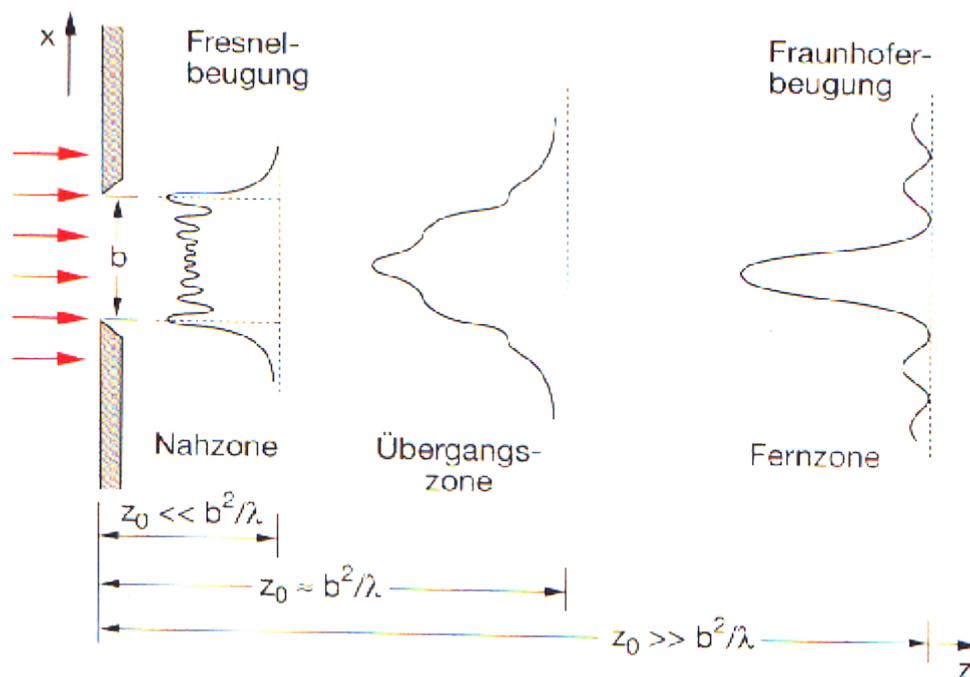


Abbildung 3.1: Beugung am Einzelspalt

In diesem Versuch interessieren wir uns für die Nah- und Fernzone.

- Fernzone:  
Hier verlaufen die Wellenfronten in guter Näherung parallel zueinander, da die Spaltgröße klein gegenüber dem Abstand ist, sodass die durch geometrische Überlegungen bekannten Interferenzbilder entstehen.

<sup>1</sup>Quelle: [http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/lectures/ph3\\_0203/p323\\_106/img79.gif](http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/lectures/ph3_0203/p323_106/img79.gif)  
30.04.2012-22:00 Uhr

- Nahzone:  
Kommt man in den Bereich, in dem die oben genannte Näherung nicht mehr gilt, die Spaltgröße also nicht mehr als klein gegenüber dem Abstand angesehen werden kann, so ergibt sich ein sogenanntes divergentes Wellenfeld. In diesem Bereich spricht man dann auch von Fresnel-Beugung.

Zudem soll die Intensität in Abhängigkeit des Winkels (bei konstantem Abstand zum Spalt) bestimmt werden. Die Apparatur soll dabei so justiert werden, dass wir ein optimales Ergebnis für den Grenzfall der Fraunhofer-Beugung erhalten. Dafür muss die Spaltbreite klein im Vergleich zur Wellenlänge und dem Abstand gewählt werden.

## 4 Aufgabe 4: Einzel- und Doppelspalt

In diesem Versuch soll mit Cassy die Intensitätsverteilung eines Einzel- bzw. Doppelspaltbilds gemessen werden. Durch eine etwas mühsame Fraunhofernäherung kann man zeigen, dass die Bildintensität proportional zur Fouriertransformierten der Transmissionsfunktion ist. Dadurch ergeben sich für die beiden Spaltarten:

- Einzelspalt:

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

- Doppelspalt:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2 x}{x^2} \cdot \frac{\sin^2 (Ny)}{\sin^2 y}$$
$$\text{mit } x \text{ wie oben und } y = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

dabei bezeichnen  $b$  die Spaltbreite,  $d$  den Spaltabstand und  $N$  die Spaltanzahl.

## 5 Aufgabe 5: Interferometer

Mit Hilfe von zwei Plexiglasplatten kann ein einfaches Interferometer aufgebaut werden:

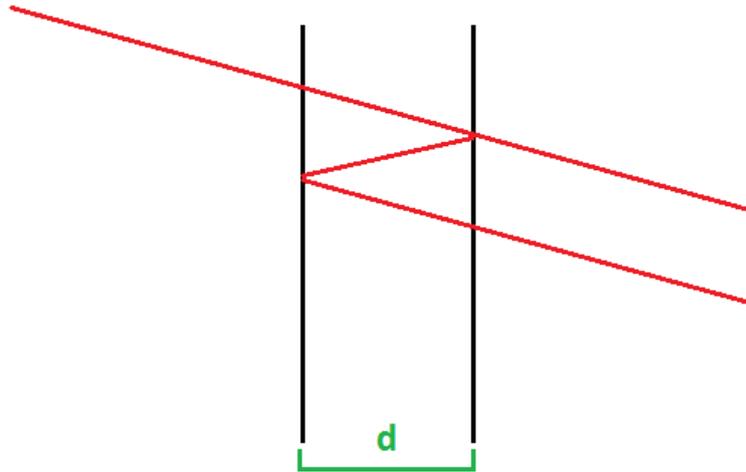


Abbildung 5.1: Interferometer

Der Abstand der Platten ist  $d$ . Es interferieren abwechselnd transmittierter und 2 mal reflektierter Strahl. Der Versuchsaufbau entspricht einem Fabry-Pérot-Interferometer. Für den Gangunterschied und die Phasendifferenz gilt dann:

$$\Delta s = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \Delta s}{\lambda}$$

Für den Fall des senkrechten Einfalls ergibt sich:

$$\Delta s = 2dn$$

Konstruktive Interferenz erhält man für:

$$\Delta s = m\lambda; \quad m \in \mathbb{N}$$

Destruktive Interferenz für:

$$\Delta s = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda; \quad m \in \mathbb{N}$$

## 6 Aufgabe 6: Polarisation

In diesem Versuch soll die Polarisation der Welle untersucht werden. Dies ist die Schwingungsrichtung/-art der elektrischen Feldstärke einer EM-Welle. Dazu messen wir einmal mit und einmal ohne  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen.

- ohne Plättchen:  
der Hornempfänger ist als Polarisationsfilter aufzufassen. Daher ergibt sich für die Intensität

$$I = I_0 \cdot \sin^2 \alpha$$

- mit Plättchen:  
Ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen ist ein Verzögerungsplättchen, welches einen Phasenunterschied von  $\frac{\pi}{2}$  zwischen zwei senkrecht zueinander stehenden Feldkomponenten erzeugt. In unserem Versuch wird das Plättchen durch ein Metallstreifengitter realisiert. Die Feldkomponente parallel zu den Metallstreifen wird stärker gedämpft als diejenige senkrecht dazu. Dadurch ist das Metallstreifengitter kein perfektes  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen. Stellt man die Achse des Plättchen um  $45^\circ$  geneigt zur Polarisation der einfallenden Welle auf, so ist zirkulare Polarisation zu erwarten. Durch die Dämpfung wird die Welle jedoch eher elliptisch polarisiert sein.  
Zirkular polarisierte Wellen besitzen keine Winkelabhängigkeit in ihrer Intensität.

## 7 Aufgabe 7: Absorptionsvermögen

In diesem Versuch soll das Absorptionsvermögen von verschiedenen Materialien in Bezug auf Zentimeter-Wellen untersucht werden. Dazu wird die Intensität mit und ohne Medium gemessen und verglichen.

## 8 Aufgabe 8: Tunneleffekt

Für elektromagnetische Wellen gibt es einen Grenzwinkel, bei dem Totalreflexion auftritt. Ist dies der Fall wird die komplette Einfallintensität auch im reflektierten Strahl zu finden sein. Überschreitet man diesen Grenzwinkel, so ergeben sich Lösungen der Wellengleichung in dem der Richtungsvektor  $k$  komplex wird. Der imaginäre Anteil von  $k$  sorgt für eine exponentielle Abnahme der Intensität im Medium. Ist das Medium dünn genug, so kann die Welle auf der anderen Seite des Mediums dennoch weiterlaufen, da die Intensität noch nicht (exponentiell) auf 0 abgefallen ist. Diesen Effekt nennt man Tunnel-Effekt.

Stellt man nun zwei Prismen hypotenusenparallel auf, so kann durch Variation der Luftschichtdicke die Eindringtiefe in Luft durch Intensitätsmessung bestimmt werden (siehe Abbildung <sup>1</sup>)

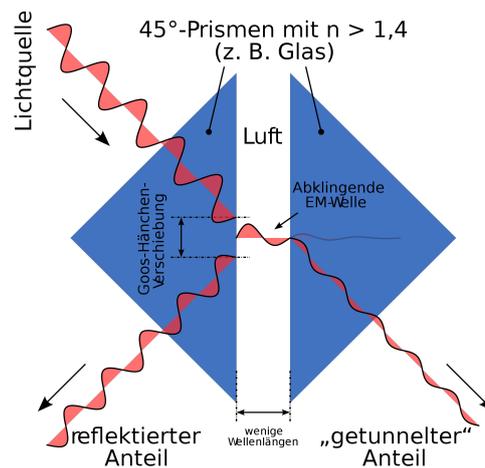


Abbildung 8.1: optisches Tunneln

<sup>1</sup>Quelle: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Frustrierte\\_Totalreflexion\\_am\\_Prisma.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Frustrierte_Totalreflexion_am_Prisma.svg); 30.04.2012-23:00 Uhr