



Philipps-Universität Marburg
Fachbereich 13 Physik
Praktikum für Schulversuche
Leitung: Catrin Ellenberger
Sommersemester 2006 ☉
Referent: Dirk Winkel ☾

Elektromagnetische Wellen

1 Funktionsweise des Mikrowellengerätes

Der Sender des NEVA Senders wird mit $12V \sim$ betrieben. Im Gerät ist ein über eine Zenerdiode stabilisierter 7V-Gleichrichter eingebaut. Die GUNN-Diode wird mit 7V Gleichspannung betrieben, diese kann noch über weitere Anschlüsse moduliert werden.

Die GUNN-Diode hat selbst keine stabile Frequenz, jedoch ist diese in einen Hohlraumresonator eingebaut, so dass sich die Schwingungen durch Resonanz in kürzester Zeit aufschaukelt. Die GUNN-Diode zieht hier durch Anregung mit. Über einen Hornstrahler werden die elektromagnetischen Wellen von 3,2cm Wellenlänge abgestrahlt, die Strahlungsleistung beträgt dabei 10mW.

Auf die genaue Arbeitsweise der Halbleiter-Diode sei hier nicht näher eingegangen. Wichtig ist jedoch, dass die emittierten Wellen polarisiert sind.

Der Empfänger besteht nur aus einer Empfängerdiode (SCHOTTKY-Diode). Diese ist, wie der Empfänger, nur in einer bestimmten Polarisationsrichtung empfindlich. Hinter der Diode kann in einem Abstand von $\frac{\lambda}{4}$ ein Reflektor montiert werden. Die Messung wird dadurch wesentlich deutlicher.

Gemessen wird an der Diode ein Strom im Bereich von $10^{-5} - 10^{-9}V$. Dies geschieht über einen Messverstärker.

2 Messungen mit dem Mikrowellengerät

Materialien:

Mikrowellensender

Empfängerdiode mit Halterung und Reflektorplatte

12V \sim -Netzteil

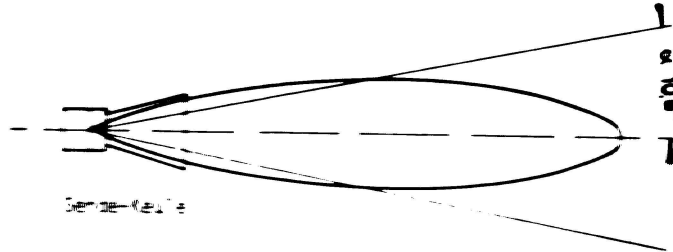
Messverstärker

Drehspulampèremeter

Kabel, Optische Bank (drehbar) und Befestigungsmaterial

2.1 Vermessung der Sendekeule

Der Sender ist ein Richtstrahler. Um die Eigenschaften besser einschätzen zu können sollen diese näher untersucht werden. Um die Abstrahlcharakteristik aufzunehmen wird die Strahlungsintensität mit Hilfe der Empfängerdiode in Abhängigkeit des Winkels bei konstanter Entfernung gemessen. Die Reflektorplatte ist dabei montiert.



Der Mikrowellenstrahler hat einen horizontalen Öffnungswinkel von $10,8^\circ$. Das bedeutet, dass in einem Winkel von $10,8^\circ$ die Hälfte der maximalen Intensität abgestrahlt wird.

Bei einer näheren Vermessung des Empfängers wird auch deutlich, dass dieser ebenfalls unterschiedlich empfindlich aus unterschiedlichen Richtungen ist. Außerdem ist die Empfindlichkeit von der Polarisationsrichtung abhängig.

Technisch werden solche Strahler gerne im Richtfunk eingesetzt, um weite Distanzen zwischen zwei fixen Punkten mit einer Funkstrecke zu verbinden.

2.2 Reflexion und Absorption

zusätzliche Materialien:

Metallplatte

Holzklötze

Glasscheibe

weitere

Unterschiedliche Materialien werden in zunächst in den linearen Strahlengang gebracht. Zu beobachten ist dabei, dass eine Metallplatte keine Strahlung durchlässt, eine Glasscheibe und ein (trockener) Holzblock etwas, abhängig von der Dicke, und Styropor praktisch keine Strahlung absorbiert.

Anschließend wird die Versuchsanordnung verändert, dass von den ebenen Oberflächen der zu untersuchenden Materialien der Reflexionsgrad in einem Winkel von 90° ermittelt wird. Metall reflektiert hier vollständig, Glas nur teilweise.

2.3 Messung der Wellenlänge

zusätzliche Materialien:

Metallplatte

vollständig trockener Holzklötz (20mm)

Die Reflektorplatte wird von der SCHOTTKY-Diode entfernt. Hinter der Diode wird dann eine große Metallplatte auf der optischen Bank montiert. Dabei sollte der Abstand zwischen der Metallplatte und der Diode wesentlich größer sein als der zwischen Diode und Strahler.

Wird der Abstand zwischen Diode und Metallplatte verändert, so ist deutlich erkennbar, dass die Intensität zu- und abnimmt.

Die elektromagnetische Welle wird von der Metallplatte reflektiert und trifft somit erneut auf die Diode. Dabei interferiert die reflektierte Welle mit der einfallenden. Ist der Abstand Platte \leftrightarrow Diode ein Vielfaches von $\frac{\lambda}{4}$ (\rightarrow *Wegunterschied* = $n * \frac{\lambda}{2}$) so kommt es zur konstruktiven Interferenz an der Diode, bei anderen Verhältnissen ist die Amplitude geringer bis hin zur destruktiven Interferenz.

Aus dem Abstand zweier Maxima lässt sich also die Wellenlänge von 3,2cm ermitteln.

Wird der Holzklötz in den Strahlengang gebracht, so verschieben sich die Maxima. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Mikrowellen eine kürzere Wellenlänge in dem Medium haben und es somit zu einer Verschiebung kommt.

2.4 Beugung der Mikrowellen, Eindringtiefe

weitere Materialien:

Plexiglas- oder Kunstharzlinse und Prisma

2 90°Kunststoff-Prismen

Durch Einbringen eines großen Prismas oder einer Linse aus Kunststoff lässt sich leicht die Beugung der Mikrowellenstrahlen nachweisen.

In einem rechtwinkligen Kunststoffprisma lässt sich auch die Totalreflexion nachweisen.

Werden 2 rechtwinklige Kunststoffprismen wie in der Abbildung in den Strahlengang eingesetzt und die Intensität der Strahlung im Abhängigkeit des Abstandes der Prismen gemessen, so kann die Eindringtiefe und damit der Tunneleffekt demonstriert werden.

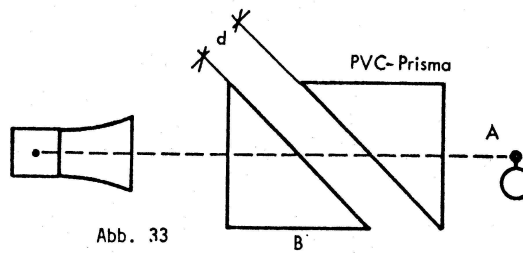


Abb. 33

2.5 Interferenz

zusätzliche Materialien:

Glasplatte

2 große Metallplatten (30cm)

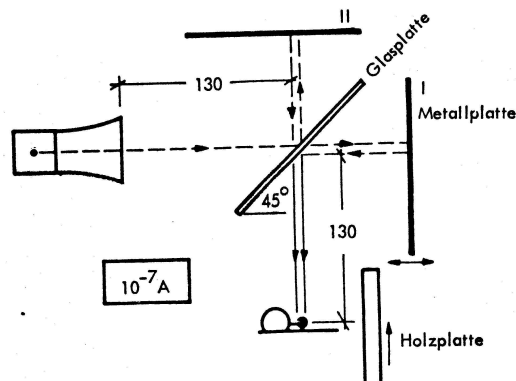
Wie bereits vorher ermittelt werden die Mikrowellen teilweise an einer Glasplatte reflektiert und teilweise transmittiert.

Wird nun die Strahlung im rechten Winkel an einer Metallplatte reflektiert und davor in variablem Abstand eine Glasplatte positioniert, so gelangt die Strahlung teilweise direkt von der Glasplatte zur Messdiode. Ein anderer Teil gelangt jedoch über den weiteren Weg über die Reflexion an der Metallplatte an die Diode. Die beiden Strahlengänge interferieren also miteinander. Abhängig von dem Abstand der Glasplatte von der Metallplatte kommt es dabei zur konstruktiven oder destruktiven Interferenz.

2.5.1 Modellversuch: Michelson-Interferometer

zusätzliche Materialien:

2 große Metallplatten



Wie bereits vorher festgestellt kann eine Glasplatte als teildurchlässiger Spiegel verwendet werden. Es wird also eine Glasplatte in einem Winkel von 45° als Strahlteiler in den Strahlengang eingebracht. In direkter Reflexionsrichtung wird die Empfängerdiode platziert. Weiterhin werden 2 Metallplatten als „Spiegel“ einmal hinter der Glasplatte und einmal gegenüber der Empfängerdiode platziert (siehe Abbildung). Die transmittierten Wellen gelangen somit über einen deutlich weiteren Weg zur Empfängerdiode. Hier kommt es dann zur Interferenz der beiden Strahlengänge.

Beim Verschieben einer der Metallplatten verändert sich die Weglänge des langen Strahlenganges, und damit auch der Phase an der Empfängerdiode. Deutlich sichtbar ist die Veränderung der gemessenen Intensität.

Alternativ kann auch ein anderes Medium wie Holz in den Strahlengang eingebracht werden. Dies führt auch, wie oben beschrieben, zu einer Phasenverschiebung.

2.6 Modellversuch Radarfalle

zusätzliche Materialien:

große Metallplatte (30cm)

Oszilloskop

Der Mikrowellensender verfügt über einen Modulationsausgang, mit dem die Strahlung moduliert werden kann. Andererseits überlagert sich auch eine auf die GUNN-Diode fallende Welle mit der gesendeten. Die Differenzfrequenz ist dann am Modulationsausgang ablesbar.

Im Versuch wird die gesendete Welle durch eine große Metallplatte zurück auf die Gunn-Diode reflektiert. Wird die Metallplatte auf den Sender zu bewegt oder davon weg, so entsteht durch den Dopplereffekt eine Frequenzverschiebung von

$$f_v = f_0 * \left(1 + -\frac{2v}{c}\right)$$

Dies ergibt eine Differenzfrequenz von

$$\Delta f = 2 * f_0 * \frac{v}{c}$$

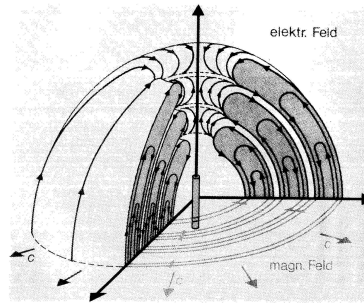
Im Falle des Mikrowellensenders ist $f_0 = 9,35 * 10^9 Hz$. Dies ergibt beispielsweise bei einer Geschwindigkeit von $v = 0,4 \frac{m}{s}$ eine gemessene Frequenz

$$\Delta f = 2 * 9,35 * 10^9 \frac{1}{s} * 0,4 \frac{m}{s} \frac{1}{3 * 10^8 \frac{m}{s}} \approx 25 Hz$$

Diese Frequenz ist direkt am angeschlossenen Oszilloskop ablesbar.

Damit kann die Geschwindigkeit des angepeilten Objektes ermittelt werden. Bei den z.B. in der Seefahrt üblichen Radargeräten kann darüber hinaus noch die absolute Entfernung zum Objekt anhand des Laufzeitunterschiedes eines ausgesandten Signals ermittelt werden. Da sich das Signal mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet ist eine solche Messung in diesem kleinen Rahmen nicht möglich.

3 Der Hertzsche Dipol



Eine stehende Grundwelle der Wellenlänge $\lambda = 2l$ auf einem elektrischen Leiter, wobei l die Leiterlänge ist, wird **resonanter Hertzscher Dipol** genannt. Hierbei schwingt die Dipolladung hin und her. Das elektrische Feld wird als **Hertzsche Dipolstrahlung** abgestrahlt.

Dabei entsteht ein elektrisches Wechselfeld, welches ein magnetisches Feld induziert. Dies wiederum induziert wieder ein elektrisches Feld und die elektromagnetische Welle setzt sich fort.

4 Messungen mit dem Dezimeterwellenstrahler

Materialien:

Hochfrequenzoszillator (Dezimeterwellensender) mit Zubehör

Feld-Indikatorlampe

Lecher-Leitersystem

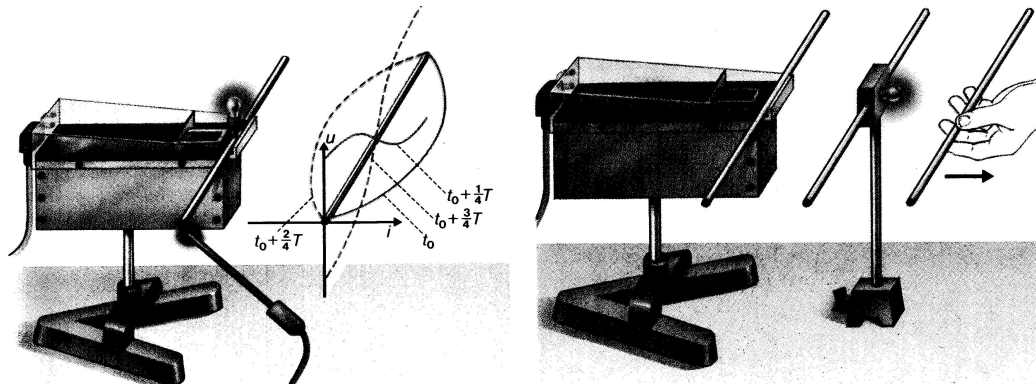
Spannungsquelle $6,3V \sim$

Spannungsquelle $320V =$

Alternativ: Betriebsgerät zum Dezimeterwellensender

Befestigungsmaterial und Kabel

4.1 Anregung eines Metallstabes



Zwei Metallstäbe, die in der Mitte über eine Glühlampe verbunden sind, mit einer Gesamtlänge von 31cm wird auf den HF-Oszillator gelegt. Obwohl es keinen elektrischen Kontakt gibt beginnt die Lampe zu leuchten.

4.2 Senden und Empfangen von Dezimeterwellen

Wird ein Metallstab von 31cm Länge auf den HF-Oszillator gelegt, so werden in diesem elektrische Schwingungen angeregt. Damit dient der Metallstab als Hertzscher Dipol und sendet eine elektromagnetische Welle aus. Diese regt in unserem zuvor verwendeten Empfänger dipol in einiger Entfernung wiederum eine Schwingung an und die Glühlampe beginnt zu leuchten. Wird gegenüber der Lampe ein weiterer Metallstab positioniert, so kann dieser als Reflektor dienen und damit die Lampe durch Überlagerung der direkten und reflektierten Welle zu hellerem oder schwächerem Leuchten bringen.

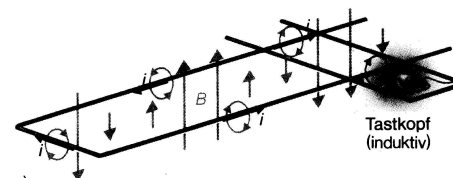
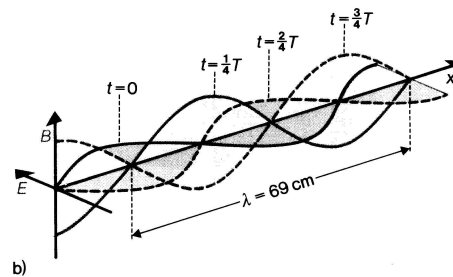
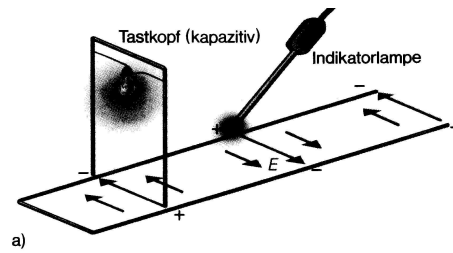
Diese Anordnung erinnert an Fernsehantennen, die in der Tat in diesem Frequenzbereich empfangen.

4.3 Vermessung einer Lecherleitung

Zwei parallele Leiter sind am Anfang Kurzgeschlossen und werden durch den Oszillator angeregt. Dadurch wandert eine elektromagnetische Welle entlang der Leitung. Diese Anordnung wird als **Lecher-Leitung** bezeichnet.

Wird eine Indikatorlampe wie in der Abbildung parallel zu den beiden Leitern gehalten, so fließt durch diese ein Strom, wenn die Potentialdifferenz zwischen den beiden Polen groß ist. Sie zeigt so also ein elektrisches Feld an.

Wird die Lampe wie in der 3. Abbildung gehalten, so induziert das durch die von den beiden Leiterstäben aufgespannte Fläche tretende magnetische Feld



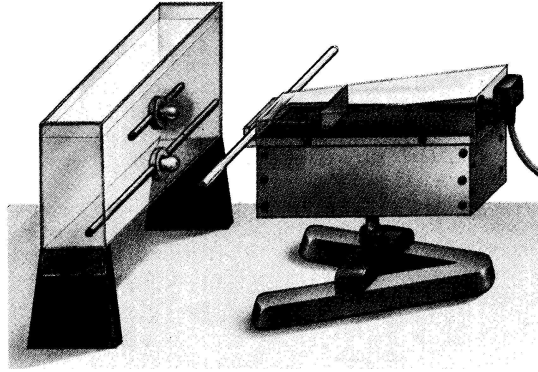
einen Strom, der wiederum die Lampe zum Leuchten bringt. Wichtig ist, dass die Leiterstäbe noch möglichst weit über die Lecherleitung hinaus ragen, da diese durch ihre Kapazität als Kondensator dienen.

Technische Anwendung findet die Lecher-Leitung sehr häufig in der verkabelten Datenübertragung. Beispielsweise werden so durch die 2-adrigen Kupferkabel von Telefonleitungen bei einem DSL-Anschluss große Datenmengen übertragen. Aber auch Koaxialkabel wie z.B. Fernsehkabel funktionieren nach diesem Prinzip. Der Vorteil hierbei ist, dass das Feld nicht abgestrahlt wird, also über lange Distanzen quasi verlustfrei ein Signal transportiert werden kann.

4.4 Wellenlängen in unterschiedlichen Medien

Zwei Empfangsdipole mit Glühbirnen sind in einen Tank eingebaut, einer mit einer Länge von 31cm, der andere mit einer Länge von ca. 6cm. Wird dieser vor dem Sender (mit Dipol-Sender-Stab) platziert, so wird der untere Dipol angeregt, die obere Glühbirne hingegen bleibt dunkel.

Wird nun Wasser in den Tank eingefüllt ist das umgebende Medium des Empfängers nicht mehr Luft, sondern das Wasser. Da sich die Welle in Wasser langsamer ausbreitet ist die Wellenlänge hier geringer. Der lange Dipol ist damit nicht mehr



auf die Wellenlänge abgestimmt und die Lampe erlischt. Erreicht die Wasseroberfläche den oberen Dipol, so beginnt diese Lampe zu leuchten. Offenbar ist also dieser auf die Wellenlänge im Wasser abgestimmt.

Literatur

- [1] www.wikipedia.de Zugriff: 25./26.06.2006
- [2] OTTEN, E.W. *Repetitorium Experimentalphysik*. 2. Auflage, Berlin Heidelberg 2003.
- [3] GREHN, JOACHIM (HG.) *Metzler Physik*. Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover 1992.
- [4] D. MESCHÉDE (HG.) *Gerthsen Physik*. 21. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002.