

# Energieerhaltung bei Reflexion und Transmission von Mikrowellen (Artikelnr.: P2460601)

## Curriculare Themenzuordnung



### Schwierigkeitsgrad



Mittel

### Vorbereitungszeit



10 Minuten

### Durchführungszeit



20 Minuten

### empfohlene Gruppengröße



2 Schüler/Studenten

### Zusätzlich wird benötigt:

### Versuchsvarianten:

### Schlagwörter:

Mikrowellen, elektromagnetische Wellen, Reflexion, Transmission, Polarisation,, Energieerhaltung, Erhaltungssätze

## Einführung

## Einleitung

Treffen elektromagnetische Wellen auf ein Hindernis, so werden sie anteilig reflektiert, transmittiert und absorbiert. Im vorliegenden Versuch wird nachgewiesen, dass die Summe der Anteile eine Erhaltungsgröße ist.

## Hinweis

Vor der Durchführung dieses Versuches ist es sinnvoll, aber nicht zwingend erforderlich, zunächst die Versuche P2460201 „Polarisation von Mikrowellen“, P2460301 „Reflexion, Transmission und Brechung von Mikrowellen“ und P2460501 „Stehende Wellen im Mikrowellenbereich“ durchzuführen.

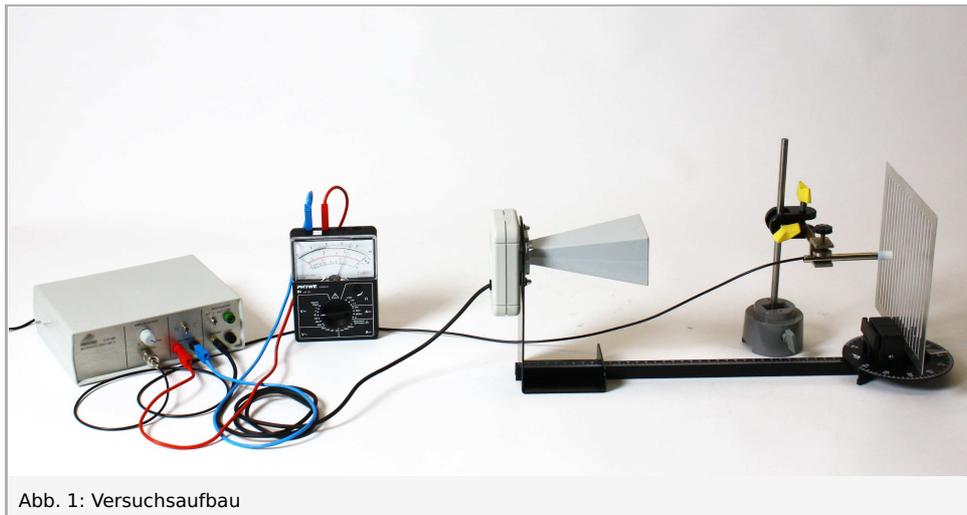
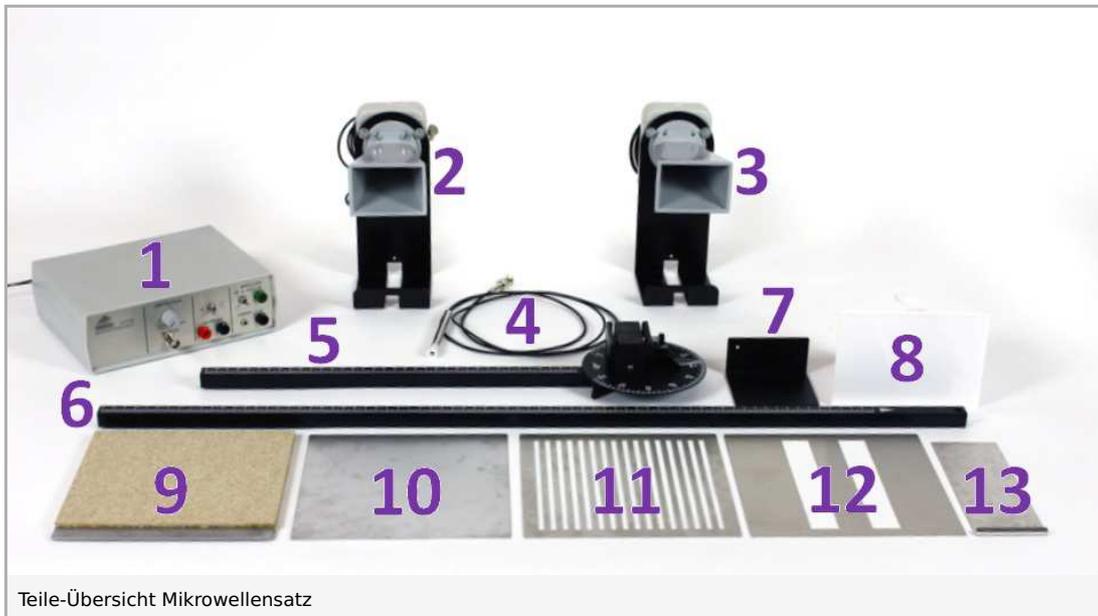


Abb. 1: Versuchsaufbau

## Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
	<b>Aus dem Mikrowellensatz:</b>	11742-93	1
1	Steuereinheit Mikrowelle		(1)
3	Mikrowellensender		(1)
4	Mikrowellensonde		(1)
5	Winkelskala		(1)
6	Maßstab		(1)
11	Gitter		(1)
	<b>Außerdem:</b>		
14	Vielfachmessinstrument, analog	07028-01	1
15	Verbindungsleitung, 32 A, 750 mm, rot	07362-01	1
16	Verbindungsleitung, 32 A, 750 mm, blau	07362-04	1
17	Tonnenfuß PHYWE	02006-55	1
18	Stativstange Edelstahl 18/8, l = 250 mm, d = 10 mm	02031-00	1
19	Doppelmuffe PHYWE	02040-55	1
20	Plattenhalter, Öffnungsweite 0 - 10 mm	02062-00	1
	<b>Optional:</b>		
21	Geometriedreieck, transparent	09937-10	1



## Aufgaben

Benutzen Sie ein Polarisationsgitter, um den Zusammenhang von Reflexion und Transmission zu finden.

Loading [Contrib]/a11y/accessibility-menu.js

## Theorie

Treffen elektromagnetische Wellen auf eine Oberfläche, so können unterschiedliche Wechselwirkungen erfolgen: Es wird anteilig Strahlung reflektiert (zurückgeworfen), transmittiert (durchgelassen) und absorbiert (Energie wird an das Material abgegeben). Beim Übergang in ein anderes Medium kann eine Laufzeitänderung und eine damit verbundene Änderung der Ausbreitungsrichtung der Welle (Brechung) erfolgen. Diese Phänomene werden in dem Versuch P2460301 „Reflexion, Transmission und Brechung von Mikrowellen“ untersucht. In diesem Versuch soll die anteilige Reflexion und Transmission an einem Polarisationsgitter bestimmt werden.

Um Reflexion und Transmission zu verstehen, soll zunächst die Amplitude der elektrischen Feldstärke bei der Reflexion betrachtet werden. Da sich zwischen dem reflektierenden Objekt (hier: Metallplatte) und dem Sender (metallische Einhausung) eine stehende Welle ausbildet (siehe hierzu auch Versuch P2460501 „Stehende Wellen“), setzt sich im Schwingungsbau die gemessene Amplitude  $E_S$  zusammen aus einem Anteil  $E_R$  (Amplitude der reflektierten Welle) und einem Anteil  $E_0$  (Amplitude der Primärstrahlung des Senders). Es gilt also:

$$E_S = E_0 + E_R \quad (1)$$

Für denjenigen Anteil der Strahlung, welcher reflektiert wird, gilt:

$$R = \frac{E_R}{E_0} \quad (2)$$

Für denjenigen Anteil der Strahlung, welcher transmittiert wird, gilt analog:

$$T = \frac{E_T}{E_0} \quad (3)$$

Hierbei ist die  $E_T$  die Amplitude der transmittierten Strahlung. Die Summe von Reflektionsanteil  $R$  und Transmissionsanteil  $T$  ist aufgrund der Energieerhaltung konstant. Da es sich definitionsgemäß um relative (prozentuale) Größen handelt, muss für die Summe gelten:

$$R + T = 1 \quad (4)$$

Die Größen  $R$  und  $T$  sind im vorliegenden Versuch nicht direkt zugänglich, da ausschließlich eine Messung von Intensitäten (nicht Amplituden) erfolgt. Da die Amplituden quadratisch in die Intensität eingehen, können sie dennoch aus dem der Intensität proportionalen Spannungssignal gewonnen werden:

$$R = \frac{E_R}{E_0} = \sqrt{\frac{U_R}{U_0}} \quad (5)$$

bzw.

$$T = \frac{E_T}{E_0} = \sqrt{\frac{U_T}{U_0}} \quad (6)$$

Bei der Bestimmung des Reflektionsanteils  $R$  ist zu beachten, dass am Ort der Messung die reflektierte Intensität überlagert ist vom Primärstrahl des Mikrowellensenders (siehe Gl. 1). Daher wird zur Bestimmung von  $U_R$  zunächst das überlagerte Signal  $U_S$  gemessen und im Anschluss um den Anteil des Primärstrahls  $U_0$  korrigiert:

$$\sqrt{U_R} = \sqrt{U_S} - \sqrt{U_0} \quad (7)$$

Im vorliegenden Versuch wird ein Polarisationsgitter benutzt, um unterschiedliche Anteile von Reflexion und Transmission einzustellen. Bei diesem Gitter aus Metallstäben ist die Durchlässigkeit abhängig von der Winkelorientierung des Gitters (Winkel  $\alpha$ ) relativ zu der konstanten Polarisation der Mikrowellen, wie sie vom Sender vorgegeben wird: Nur die Projektion des elektrischen Feldvektors in Durchlassrichtung wird tatsächlich transmittiert; der verbleibende Anteil der Strahlung wird von dem metallischen Gitter reflektiert (eine ausführliche Darstellung zur Polarisation findet sich in dem Versuch P2460201 „Polarisation von Mikrowellen“). Der Anteil der transmittierten Intensität  $I(\alpha)$  folgt dabei

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

Folglich lässt sich durch Drehung des Gitters im Strahl der Anteil von Reflexion und Transmission stufenlos einstellen. Für das vorliegende Experiment werden exemplarisch fünf Winkeleinstellungen gewählt, um die Erhaltung zu demonstrieren. Die Absorption am Gitter kann dabei vernachlässigt werden.

Beachten Sie, dass die am Gitter reflektierten Mikrowellen auf den Sender zurückgeworfen werden. Dieser verfügt über eine metallische Einhausung, welche ebenfalls reflektiert, so dass sich zwischen Sender und Gitter eine stehende Welle ausbildet. Das heißt u.a., dass die Intensität am Ort des Gitters verschwindet, da sich hier ein Schwingungsknoten befindet. Soll also der reflektierte Anteil der Intensität bestimmt werden, so muss dies räumlich versetzt am Ort des Schwingungsbauchs geschehen. Eine ausführliche Darstellung zu stehenden Wellen findet sich im Versuch P2460501 „Stehende Wellen im Mikrowellenbereich“.

## Aufbau und Durchführung

Bauen Sie den Versuch nach Abb. 2 auf.

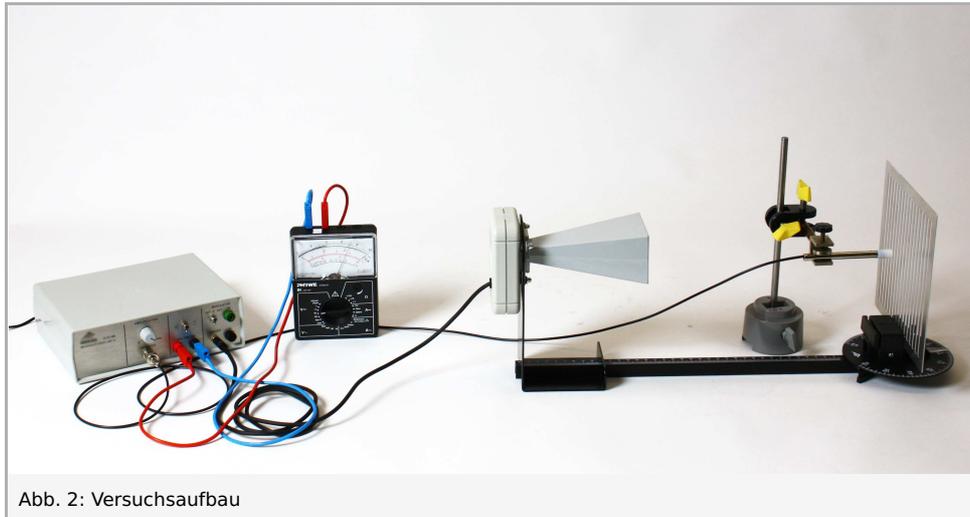


Abb. 2: Versuchsaufbau

Schließen Sie dazu Mikrowellensender und -sonde an den dafür vorgesehenen Buchsen der Steuereinheit an. Verbinden Sie das Vielfachmessinstrument mit dem Voltmeter-Ausgang der Steuereinheit und wählen Sie den Messbereich 10 V (Gleichspannung). Die Benutzung des Lautsprechers und der internen oder externen Modulation ist für diesen Versuch nicht notwendig. Setzen Sie Winkelskala und Maßstab mit Hilfe der Schraube auf der Rückseite der Winkelskala und der Aussparung im Maßstab zusammen. Bringen Sie durch Drehung des Maßstabs die Markierungen (Pfeile) auf Winkelskala und Maßstab in Übereinstimmung (siehe Abb. 3).



Abb. 3: Aufbau und Ausrichtung von Winkelskala und Maßstab

Stellen Sie das Gitter in der dafür vorgesehenen Halterung im Drehzentrum der Winkelskala so auf, dass die Gitterstäbe horizontal verlaufen. Sichern Sie das Gitter gegen Verkippen, indem Sie es mit Hilfe der Schraube arretieren. Das Gitter darf auf keinen Fall während des Versuchs von der aufrechten Position abweichen, da dies die Messung empfindlich verfälschen würde. Montieren Sie die Sonde mit der Doppelmuffe und dem Plattenhalter am Stativ im Tonnenfuß (siehe Abb. 4). Achten Sie darauf, dass die runde Markierung in der Nähe des Messkopfs nach oben weist. Positionieren Sie den Sender am äußeren Ende der Winkelskala, z. B. bei 420 mm).

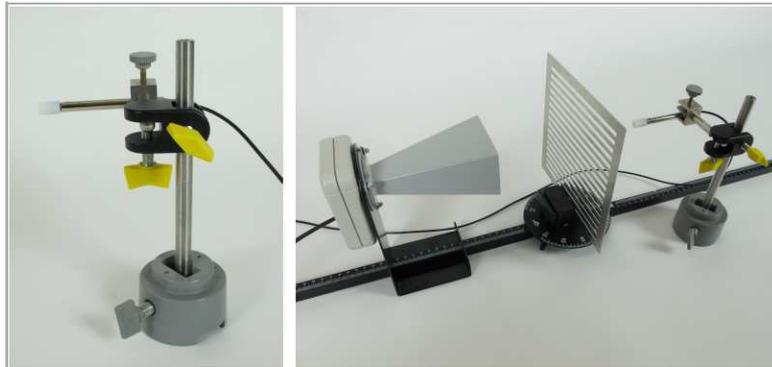


Abb. 4: Halterung der Sonde und Transmissionsmessung mit horizontal ausgerichtetem Gitter

Bringen Sie nun die Sonde hinter dem Gitter in den Strahlengang, so dass sich der Messkopf direkt oberhalb des Maßstabs befindet, und nicht gegen die Ausbreitungsrichtung der Strahlung gedreht ist (siehe Abb. 4). Schalten Sie den Sender ein, indem Sie die Steuereinheit an das Stromnetz anschließen, und wählen Sie die maximale Amplitude am Amplitudendrehregler. Kontrollieren Sie die Höhe der Sonde in ihrer Halterung, indem Sie die Höhe der Doppelmuffe variieren, um den Ausschlag des Voltmeters zu maximieren. Prüfen Sie durch Verschiebung und Drehung der Sonde, dass sie das maximale Signal der transmittierten Strahlung empfängt.

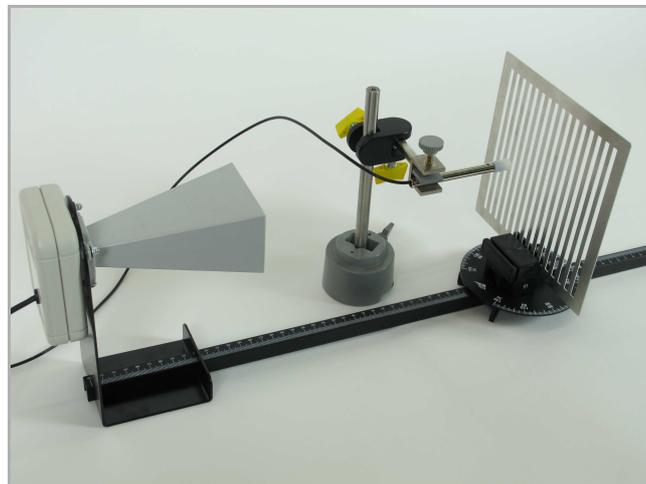


Abb. 5: Reflexionsmessung (hier: vertikal ausgerichtetes Gitter)

Messen Sie nun zunächst die Spannung  $U_T$  als Maß für die Intensität der transmittierten Mikrowellen, und positionieren Sie im Anschluss zur Messung des reflektierten Anteils die Sonde vor dem Gitter, so dass der Messkopf zum Gitter hin weist (siehe Abb. 5). Richten Sie die Sonde wie oben im Strahlengang aus, und achten Sie insbesondere darauf, die Position in Strahlrichtung exakt zu bestimmen. Verschieben Sie dazu die Sonde in Strahlrichtung an den Ort des Schwingungsbauchs der stehenden Welle zwischen Sender und Gitter (siehe oben). Messen Sie auch an diesem Ort die Spannung ( $U_S$ ), und entfernen Sie im Anschluss das Gitter aus dem Strahlengang, um die Intensität ohne Gitter zu messen ( $U_0$ ). Wiederholen Sie die Messung der drei Spannungen  $U_T$ ,  $U_S$  und  $U_0$  nun für verschiedene Winkel  $\alpha$ , indem Sie das Gitter jeweils um  $45^\circ$  gedreht in die Halterung spannen (siehe Abb. 6). Benutzen Sie ggf. das Geodreieck, um den Winkel zu überprüfen (siehe auch Versuch P2460201 „Polarisation von Mikrowellen“).



Abb. 6: Transmissionsmessung unter verschiedenen Winkeln

## Hinweis

Achten Sie bei der Durchführung der Experimente darauf, sich beim Ablesen der Messwerte vom Voltmeter nicht in der unmittelbaren Nähe des Strahlengangs aufzuhalten. Der menschliche Körper wirkt reflektierend auf die Mikrowellen und kann das Messergebnis verfälschen. Das gleiche gilt insbesondere für alle metallischen Gegenstände. Beachten Sie auch bei zeitgleicher Durchführung mehrerer Experimente in einem Labor, dass die Versuche mit hinreichendem Abstand voneinander durchgeführt werden, so dass keine Störsignale durch reflektierte Strahlung und/oder Streustrahlung verschiedener Aufbauten entstehen.

## Auswertung und Ergebnis

Bestimmen Sie für die verschiedenen Winkel Reflektionsanteil  $R$  und Transmissionsanteil  $T$ , und vergleichen Sie die Summe  $R + T$  mit dem zu erwartenden Wert 1.

<b>Winkel in °</b>	-90	-45	0	45	90
$U_T$ in V	3.625	1.400	0.300	1.700	4.700
$U_S$ in V	4.850	8.100	9.200	7.000	5.100
$U_0$ in V	4.150	3.500	3.050	3.800	3.700
$\sqrt{U_T}$ in $\sqrt{V}$	1.904	1.183	0.548	1.304	2.168
$\sqrt{U_S}$ in $\sqrt{V}$	2.202	2.846	3.033	2.646	2.258
$\sqrt{U_0}$ in $\sqrt{V}$	2.037	1.871	1.746	1.949	1.924
$\sqrt{U_R}$ in $\sqrt{V}$	0.165	0.975	1.287	0.696	0.335
$R = \sqrt{U_R}/\sqrt{U_0}$	0.081	0.521	0.737	0.357	0.174
$T = \sqrt{U_T}/\sqrt{U_0}$	0.935	0.632	0.314	0.669	1.127
$R + T$	1.016	1.154	1.050	1.026	1.301
<b>Abweichung in %</b>	1.6	15.4	5.0	2.6	30.1

Tabelle 1: Reflexions- und Transmissionsanteil für verschiedene Winkel

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, sind die Messwerte mit nicht zu vernachlässigenden Fehlern behaftet. Die Vorhersage  $R + T = 1$  wird (im Rahmen der Messgenauigkeit) bestätigt.

Ergeben sich Werte  $R + T \neq 1$ , so kann dies verursacht sein durch Abweichungen der Sondenposition vom Ort des Schwingungsbauchs bei der Messung des reflektierten Anteils, oder durch Drehung der Sonde gegen den Strahlengang. Ist das Gitter nicht gegen die vorgesehenen Winkel präzise ausgerichtet, wird das Ergebnis ebenfalls abweichen. Auch eine Verkippung oder Verdrehung des Gitters in den verbleibenden beiden Drehrichtungen oder Störsignale aus Reflexionen an der Umgebung können unabhängig von Ableseungenauigkeiten das Messergebnis verfälschen. Ein Verlust von Strahlungsintensität durch Absorption oder Wärmeeintrag in das Gitter (Energiedissipation) muss im vorliegenden Aufbau nicht berücksichtigt werden.