Wellenoptik mit Mikrowellen

DEMONSTRATION UND UNTERSUCHUNG VON INTERFERENZ, BEUGUNG UND POLARISATION VON MIKROWELLEN

- **Punktweise Messung der Intensität bei der Beugung von Mikrowellen am Doppelspalt**
- **Bestimmung der Maxima für verschiedene Beugungsordnungen**
- **Bestimmung der Wellenlänge bei bekanntem Spaltabstand**
- **Untersuchung und Änderung der Polarisation der abgestrahlten Mikrowellen**

UE3060300

03/18 UD

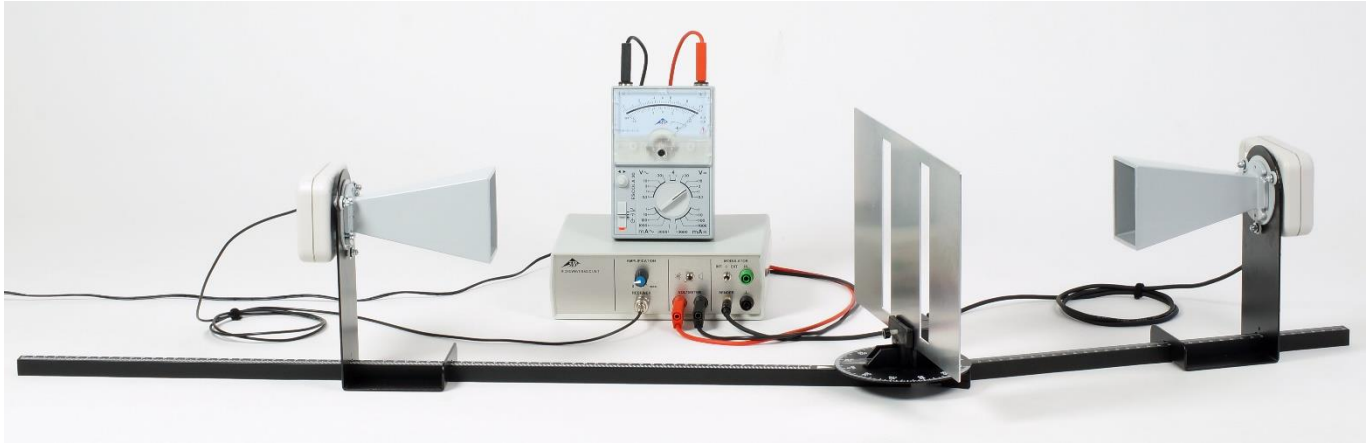

Fig. 1: Messanordnung für die Beugung von Mikrowellen am Doppelspalt

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Die Wellenoptik betrachtet Licht als transversale, elektromagnetische Welle und erklärt so die Interferenz, Beugung und Polarisation von Licht. Auch Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen und zeigen die gleichen Phänomene, ihre Wellenlängen sind aber deutlich größer als die von sichtbarem Licht. Daher können für wellenoptische Experimente mit Mikrowellen Beugungsobjekte und Polarisationsgitter eingesetzt werden, deren interner Aufbau mit bloßem Auge erkennbar ist.

Im Experiment wird die Beugung von Mikrowellen der Wellenlänge λ an einem Doppelspalt untersucht, dessen Spaltabstand *d* mehrere Zentimeter beträgt. Man erhält die für die Beugung am Doppelspalt typische Intensitätsverteilung (siehe Fig. 5) mit Maxima unter den Winkeln α_m, die der Bedingung

$$(1) \quad \sin\alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

genügen.

Die maximale Intensität wird offensichtlich genau dann gemessen, wenn der Empfänger hinter dem mittleren Steg steht und nicht auf geradem Wege vom Sender bestrahlt werden kann. Dieses Phänomen kann durch die Interferenz der Teilwellen aus beiden Spalten erklärt werden und ist ein deutlicher Beleg für die Wellennatur der Mikrowellen.

Durch Drehen des Senders um die Strahlrichtung wird die lineare Polarisation der abgestrahlten Mikrowellen nachgewiesen. Bei gekreuzter Ausrichtung von Sender und Empfänger nimmt die gemessene Intensität auf Null ab. Bringt man ein Polarisationsgitter unter 45° in den Strahlengang, so empfängt der Empfänger wieder eine Welle, wenn auch mit geringerer Amplitude. Das Gitter lässt die Komponente des E-Vektors der ankommenden Mikrowelle durch, die parallel zum Polarisationsgitter schwingt. Hiervon wiederum wird die parallel zum Empfänger schwingende Komponente gemessen.

GERÄTELISTE

1	Mikrowellensatz 9,4 GHz @230V	1009951 (U8493600-230)
oder		
1	Mikrowellensatz 10,5 GHz @115V	1009950 (U8493600-115)
1	Analog-Multimeter Escola 30	1013526 (U8557330)
1	Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75 cm, rot/blau	1017718 (U13816)

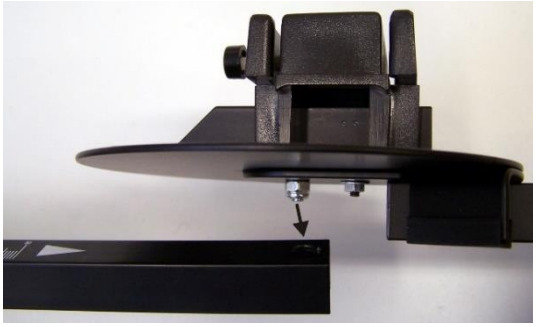

Fig. 2: Einsetzen der kurzen in die lange Schiene

AUFBAU

- Die kurze in die lange Schiene einsetzen (Fig. 2).
- Das Schienensystem in die 0°-Position bringen (Fig. 3).
- Den Plattenhalter wie in Fig. 3 gezeigt auf der Skalenscheibe anbringen und mit der Madenschraube fixieren.
- Den Sender bei 170 mm auf die kurze, den Empfänger bei 400 mm auf die lange Schiene stellen. Sender und Empfänger horizontal parallel zueinander ausrichten.
- Den Sender an die Buchse „Sender“, den Empfänger an die Buchse „Receiver“ des Betriebsgeräts anschließen.
- Das Analog-Multimeter an die 4-mm-Buchsen „Voltmeter“ anschließen und den Messbereich 3 V Gleichspannung auswählen.

Das Analog-Multimeter zeigt das verstärkte Signal des Empfängers als dazu proportionale Gleichspannung an (bei abgeschalteter Modulation).

- Lautsprecher ausschalten und „Modulator“ auf „0“ stellen.
- Betriebsgerät mit dem mitgelieferten Steckernetzteil an das Stromnetz anschließen, es ist dann sofort betriebsbereit.
- Den Regler „Amplification“ für die Signalverstärkung des Empfängers so weit aufdrehen, dass das Analog-Multimeter den Maximalwert 3 V anzeigt.

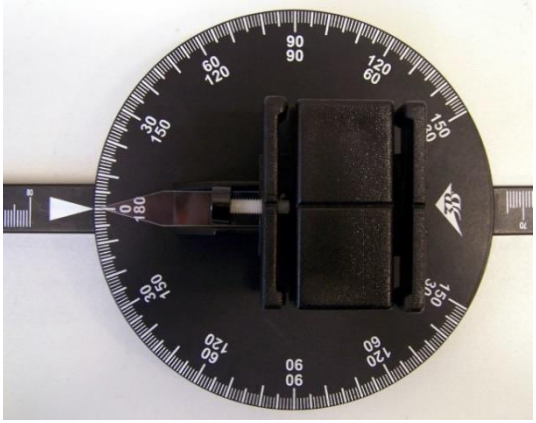

Fig. 3: 0°-Position des Schienensystems

DURCHFÜHRUNG

Beugung am Doppelspalt

- Den Sender auf die Position 250 mm verschieben. Sender und Empfänger vertikal parallel zueinander ausrichten.
- Die Platte mit Doppelspalt mittig in den Schlitz des Plattenhalters mit der Befestigungsschraube einspannen.

Hinweis
Zwischen dem Sender und der Platte mit Doppelspalt bilden sich stehende Wellen aus.

- Den Sender etwas nach links oder rechts verschieben, so dass das Analog-Multimeter einen Maximalwert anzeigt.
- Die Signalverstärkung des Empfängers so nachregeln, dass das Analog-Multimeter wieder 3 V anzeigt.
- Mit der einen Hand die lange Schiene und den Empfänger festhalten, und mit der anderen Hand die kurze Schiene und den Sender so gegen den Uhrzeigersinn drehen, dass die Zeiger-Markierung auf der langen Schiene auf die 65°-Markierung der Skalenscheibe zeigt. Den Sender dabei so festhalten, dass er seine Position auf der Schiene nicht verändert. Den Wert des Winkels als −65° in Tab. 1 eintragen.
- Spannung auf dem Analog-Multimeter ablesen und den Wert in Tab. 1 eintragen.
- Messung in 2,5°-Schritten bis 0° und weiter bis +65° durch Drehen der kurzen Schiene mit dem Sender im Uhrzeigersinn wiederholen. Alle Werte in Tab. 1 eintragen.

Polarisation

- Die Ausgangskonfiguration herstellen (siehe „Aufbau“).
- Sender, Empfänger und Polarisationsgitter so zueinander ausrichten wie in Fig. 4a – f gezeigt, jeweils die Anzeige des Analog-Multimeters beobachten und die Beobachtung notieren.

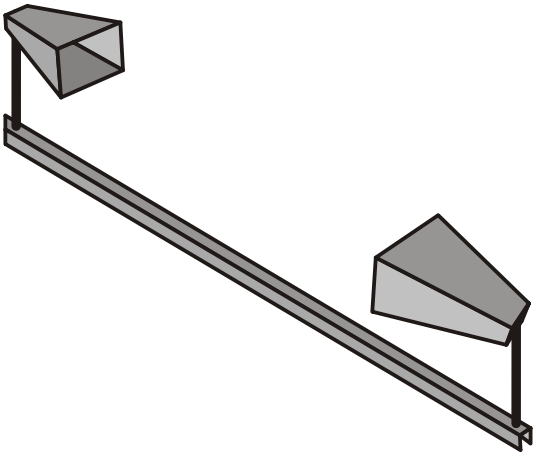

Fig. 4a: Parallele Ausrichtung von Sender und Empfänger

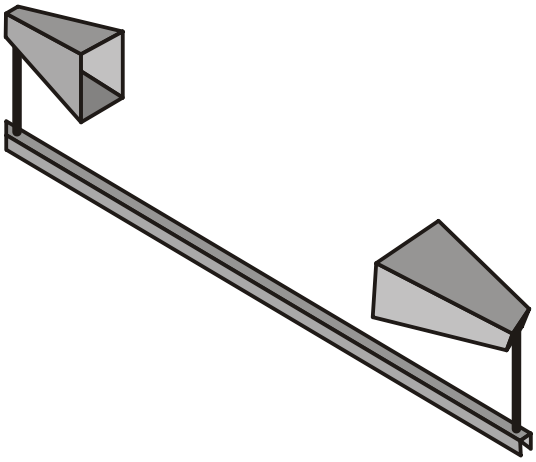

Fig. 4b: Gekreuzte Ausrichtung von Sender und Empfänger

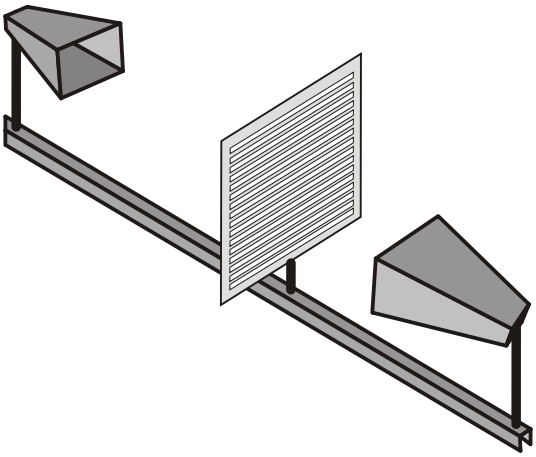

Fig. 4c: Horizontal ausgerichtetes Polarisationsgitter zwischen horizontal parallel ausgerichteten Sender und Empfänger

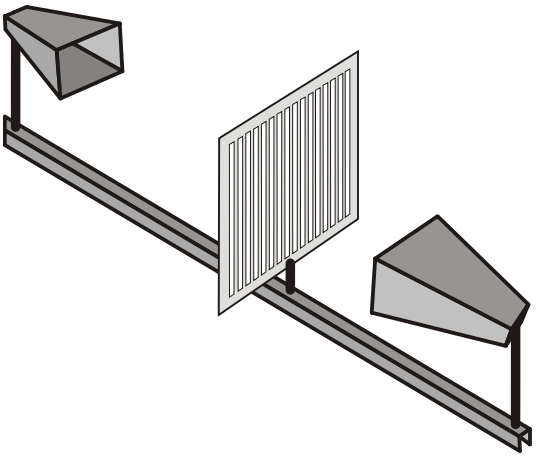

Fig. 4d: Vertikal ausgerichtetes Polarisationsgitter zwischen horizontal parallel ausgerichteten Sender und Empfänger

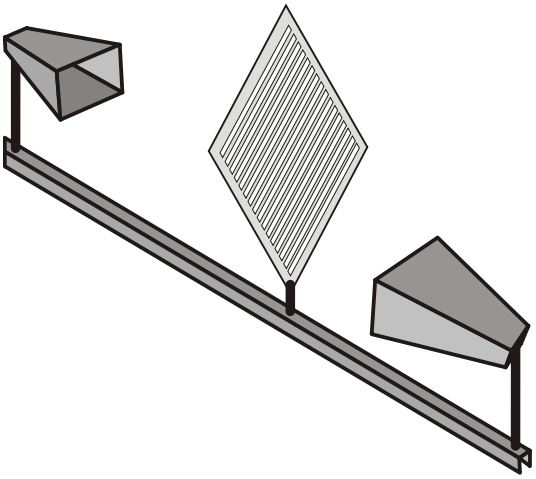

Fig. 4e: Diagonal ausgerichtetes Polarisationsgitter zwischen horizontal parallel ausgerichteten Sender und Empfänger

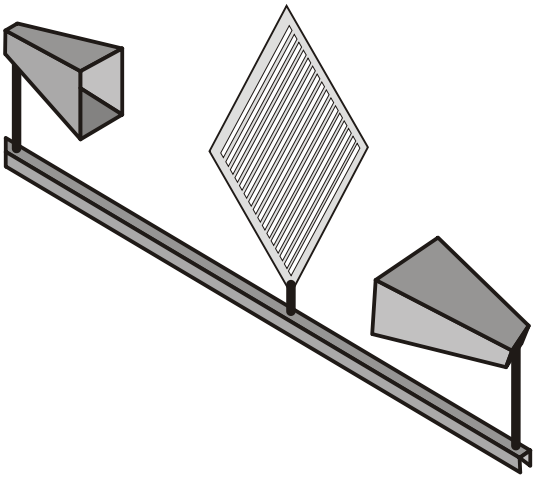

Fig. 4f: Diagonal ausgerichtetes Polarisationsgitter zwischen gekreuzt ausgerichteten Sender und Empfänger

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Beugung von Mikrowellen am Doppelspalt. Gemessene Spannungen in Abhängigkeit des Drehwinkels

α	*U* / V	α	*U* / V	α	*U* / V
-65,0°	0,40	-20,0°	2,90	25,0°	1,00
-62,5°	0,65	-17,5°	2,85	27,5°	0,30
-60,0°	1,10	-15,0°	2,25	30,0°	0,45
-57,5°	0,90	-12,5°	1,65	32,5°	1,00
-55,0°	0,70	-10,0°	0,35	35,0°	1,40
-52,5°	0,60	-7,5°	0,55	37,5°	1,85
-50,0°	0,70	-5,0°	1,75	40,0°	2,10
-47,5°	1,00	-2,5°	2,75	42,5°	1,75
-45,0°	1,50	0,0°	2,95	45,0°	1,10
-42,5°	2,00	2,5°	2,55	47,5°	0,75
-40,0°	2,25	5,0°	1,65	50,0°	0,75
-37,5°	2,00	7,5°	0,35	52,5°	0,60
-35,0°	1,50	10,0°	0,50	55,0°	0,60
-32,5°	0,80	12,5°	1,80	57,5°	0,85
-30,0°	0,45	15,0°	2,40	60,0°	0,85
-27,5°	0,40	17,5°	2,85	62,5°	0,45
-25,0°	1,20	20,0°	2,90	65,0°	0,40
-22,5°	2,40	22,5°	2,35	–	–

Tab. 2: Lage der Intensitätsmaxima als Funktion der Beugungsordnung *m*

m	α_m	sin α_m
-3	-60,0°	-0,87
-2	-40,0°	-0,64
-1	-20,0°	-0,34
0	0,0°	0,00
1	20,0°	0,34
2	40,0°	0,64
3	60,0°	0,87

- Die Winkel α_m der Beugungsmaxima in einem sin α_m – *m* - Diagramm gegen die Beugungsordnung *m* auftragen (Fig. 6).

Die Messwerte liegen auf einer Ursprungsgeraden, deren Steigung *a* nach Gleichung (1) dem Quotienten λ/d entspricht. Bei einem Spaltabstand *d* = 10,5 cm ergibt sich für die Wellenlänge λ und die Frequenz *f* der Mikrowellen:

$$a = \frac{\lambda}{d} \Leftrightarrow \lambda = a \cdot d = 0{,}302 \cdot 10{,}5\ \text{cm} = 3{,}17\ \text{cm} \Rightarrow$$

(4)

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3{,}17\ \text{cm}} = 9{,}5 \cdot \text{GHz}$$

Der Wert stimmt bis auf 1% mit dem nominellen Wert *f* = 9,4 GHz überein.

AUSWERTUNG

Beugung am Doppelspalt

- Von den gemessenen Spannungen *U* (Tab. 1) ggf. den Offset (hier: 0,30 V) abziehen,

  (2) $U' = U - U_{\text{off}} = U - 0{,}30\ \text{V}$,

  auf den Wert bei α = 0°,

  (3) $U'_{\text{max}} = U_{\text{max}} - U_{\text{off}} = 2{,}95\ \text{V} - 0{,}30\ \text{V} = 2{,}65\ \text{V}$,

  normieren und die resultierenden Werte U' / U'_{max} in Abhängigkeit des Winkels α graphisch darstellen (Fig. 5).
- Die Maxima mit der jeweiligen Beugungsordnung *m* identifizieren und zusammen mit den Winkeln α_m in die Tab. 2 eintragen.
- Jeweils den Sinus der Winkel α_m berechnen und in die Tab. 2 eintragen.

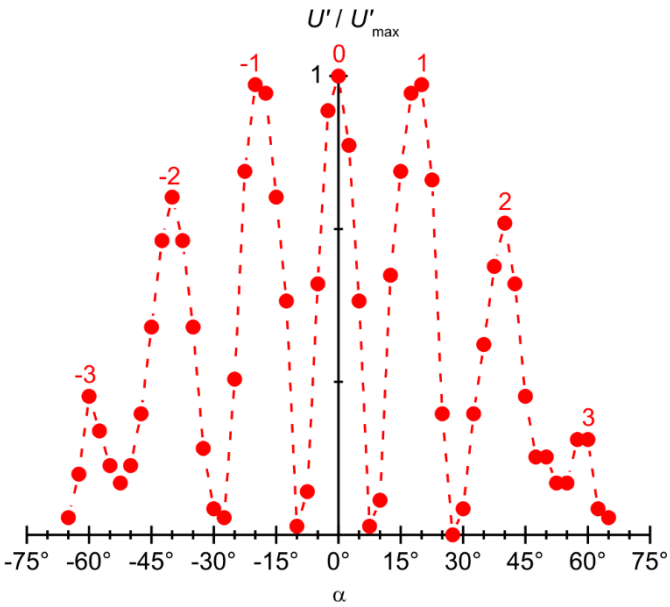

Fig. 5: Intensitätsverteilung bei der Beugung von Mikrowellen am Doppelspalt. Die gestrichelte Linie dient der Augenführung.

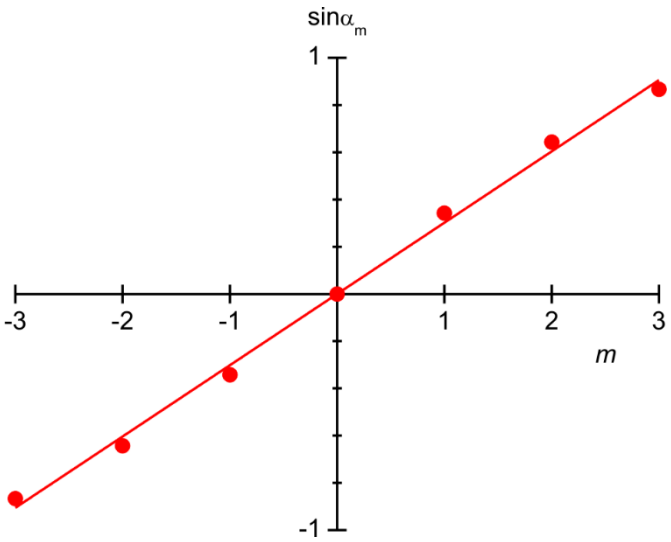

Fig. 6: Lage der Intensitätsmaxima als Funktion der Beugungsordnung *m*

Polarisation

Bei paralleler Ausrichtung von Sender und Empfänger (Fig. 4a) zeigt das Analog-Multimeter maximale Spannung an, bei gekreuzter Ausrichtung (Fig. 4b) Null. Die ausgesendeten Mikrowellen sind linear polarisierte Transversalwellen.

Bei horizontaler Ausrichtung des Polarisationsgitters zwischen horizontal parallel ausgerichteten Sender und Empfänger (Fig. 4c) zeigt das Analog-Multimeter maximale Spannung an, bei vertikaler Ausrichung (Fig. 4d) Null. Das Polarisationsgitter wirkt wie ein Polarisationsfilter.

Bei diagonaler Ausrichtung des Polarisationsgitters zwischen parallel (Fig. 4e) oder gekreuzt (Fig. 4f) ausgerichteten Sender und Empfänger zeigt das Analog-Multimeter Spannungen zwischen Null und maximaler Spannung an. Das Gitter lässt die Komponente des E-Vektors der ankommenden Mikrowelle durch, die parallel zum Polarisationsgitter schwingt. Hiervon wiederum wird die parallel zum Empfänger schwingende Komponente gemessen.

© Copyright 2018 3B Scientific GmbH