

V53

## Mikrowellen in Hohlleitern

Christopher Krause  
christopher2.krause@tu-dortmund.de

Lucas Witthaus  
lucas.witthaus@tu-dortmund.de

Durchführung: 15.04.2019

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Erzeugung von Mikrowellen . . . . .	3
2.2 Frequenz, Wellenlänge und Dämpfung in einem Hohlleiter . . . . .	4
2.3 Bestimmung des Stehwellenverhältnisses . . . . .	5
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Darstellung der Moden . . . . .	5
4.2 Ertequenz, Wellenlänge und Dämpfung . . . . .	7
<b>5 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll mithilfe eines Reflexklystrons verschiedene Eigenschaften, wie die Frequenz, Wellenlänge und Dämpfung von Mikrowellen in Hohlleitern untersucht werden. Zusätzlich soll das Stehwellenverhältnis der Mikrowellen auf verschiedene Arten berechnet werden.

## 2 Theorie

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen in einem Frequenzbereich von 300 MHz bis 300 GHz. Durch Hohlleiter lassen sich Mikrowellen verlustärmer übertragen als bei anderen Leitern, da sie keinen großen elektrischen Widerstand bieten. Hohlleiter können verschieden Formen haben, jedoch wird in diesem Versuch lediglich ein rechteckförmiger verwendet. Der Hohlleiter kann die verschiedenen Wellentypen, welche Moden genannt werden, leiten. Jeder Modus hat eine bestimmte elektrische- und magnetische Feldverteilung. Bei einem TE-Modus ist das elektrische Feld senkrecht zur Hohlleiterachse ausgerichtet und bei einem TM-Modus das magnetische Feld. Ist beides der Fall, so liegt ein TEM-Modus vor. Die Moden haben eine Grenzfrequenz  $\lambda_c$ , sodass bei kleineren Frequenzen keine Energie mehr transportiert werden kann.

### 2.1 Erzeugung von Mikrowellen

Die Mikrowellen werden durch ein Reflexklystron erzeugt. In diesem treten Elektronen aus einer Kathode aus und werden auf einen Hohlraumresonator beschleunigt. An diesem wird eine Spannung angelegt, sodass ein LC-Schwingkreis ein Hochfrequenzfeld erzeugt. Durch dieses Feld werden die Elektronen bei dem Durchlaufen des Resonators teilweise beschleunigt und abgebremst. Hinter dem Resonator treffen die Elektronen auf einen Reflektor, wodurch deren Bewegungsrichtung umgekehrt wird und diese erneut den Hohlraumresonator durchlaufen. Durch das Umkehren der unterschiedlich schnellen Elektronen, formen diese sich zu Bündeln und geben beim abbremsen in dem Resonator Energie an den Schwingkreis ab, wodurch dieser aufrecht erhalten wird. Die Energie des Schwingkreises wird induktiv ausgekoppelt und durch einen Hohlleiter transportiert. In Abbildung (1) ist der Aufbau eines Reflexklystrons dargestellt.

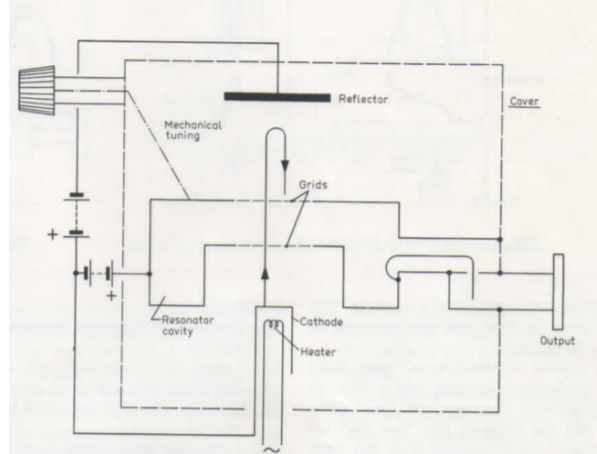


Abbildung 1: Aufbau eines Reflexklystron [1]

## 2.2 Frequenz, Wellenlänge und Dämpfung in einem Hohlleiter

Für die Wellenlängen im freien Raum  $\lambda_0$  und in einem Hohlleiter  $\lambda_g$  gilt:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2}} \quad (2)$$

Hierbei ist  $\lambda_c$  die Grenzwellenlänge,  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $f$  die Frequenz der Welle. Für den TE-oder TM-Modus gilt für die Grenzwellenlänge:

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 - \left(\frac{n}{b}\right)^2}} \quad (3)$$

Mit den Moden  $m$  und  $n$ , sowie den Maßen des rechteckigen Hohlleiters  $a$  und  $b$ . Mit diesen Gleichungen folgt, unter der Bedingung  $\lambda_c = 2a$ , für die Frequenz:

$$f = \frac{c}{\lambda_0} = c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_g}\right)^2 - \left(\frac{1}{2a}\right)^2} \quad (4)$$

Die Dämpfung  $D$  kann sowohl aus einem Leistungsverhältnis als auch einem Spannungsverhältnis berechnet werden:

$$D = 10 \ln \frac{P_1}{P_2} = 20 \ln \frac{U_1}{U_2} \quad (5)$$

### 2.3 Bestimmung des Stehwellenverhältnisses

Die durch den Hohlleiter laufenden Mikrowellen können an Fehlstellen teilweise reflektiert werden, wodurch sie mit sich selbst überlagern und eine stehende Welle ausbilden können. Für eine maximale stehende Welle müssen Phasen und Amplituden der überlagernden Wellen gleich sein. Das Stehwellenverhältnis (SWR) ist dann als Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Feldstärke auf der Leitung definiert. Für das Bestimmen des Stehwellenverhältnisses sind drei unterschiedliche Methoden möglich.

1. Das SWR kann direkt durch eine Sonde gemessen werden, wobei nur kleine SWR damit genau gemessen werden können, da die Sonde das elektrische Feld sonst stärker stört.
2. Es werden die beiden Ausgangsspannungen gemessen, welche den doppelten Wert des Minimums haben. Für das SWR gilt dann:

$$S = \sqrt{1 + \left( \frac{1}{\sin^2 \frac{\pi(d_1 - d_2)}{\lambda_g}} \right)} \quad (6)$$

Ist  $S$  größer als 10 gilt:

$$S = \frac{\lambda_g}{\pi(d_1 - d_2)} \quad (7)$$

3. Wird mit einem Dämpfer das Maximum des Ausgangssignal dem Minimum gleichgemacht, gilt:

$$A_2 - A_1 = 20 \ln(S) \quad (8)$$

Wobei  $A_2 - A_1$  die Differenz der Einstellungen des Abschwächers ist.

## 3 Durchführung

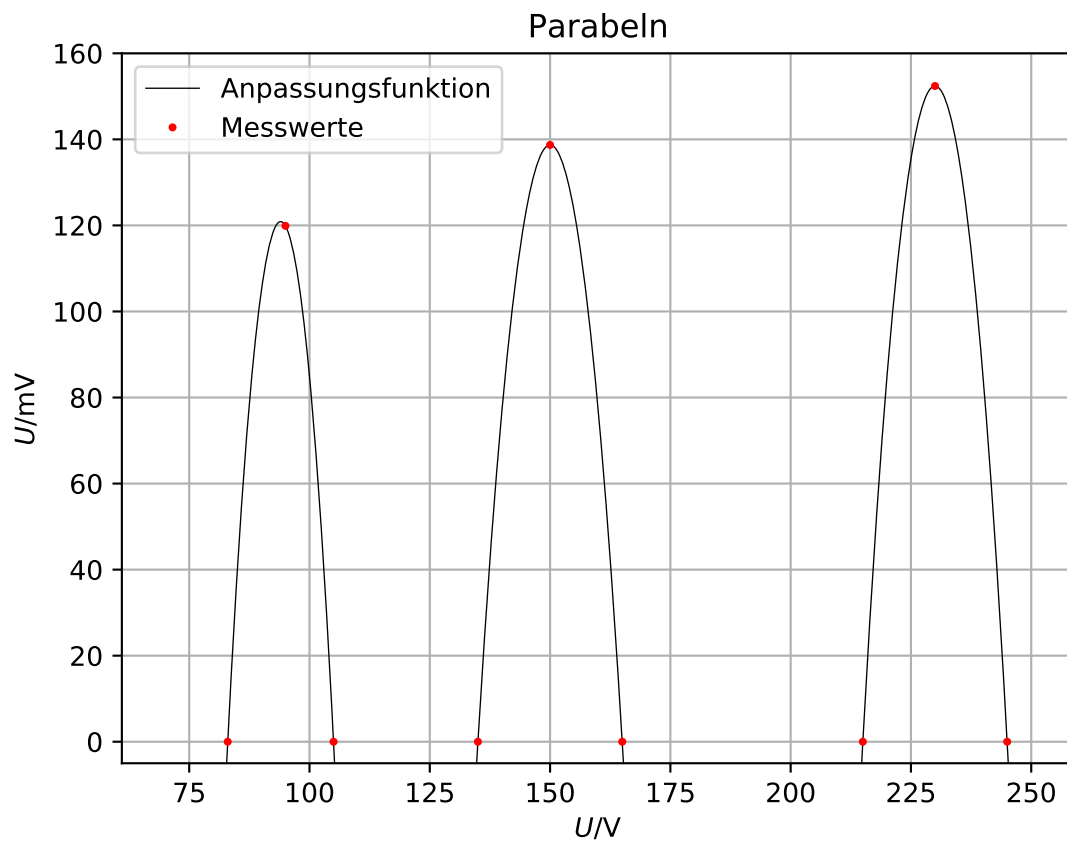
## 4 Auswertung

### 4.1 Darstellung der Moden

Die Reflektorspannungen  $U$ , die Spannungsamplituden  $A$ , sowie Frequenzen  $f$  für drei verschiedene Moden sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Stromstärke beträgt dabei  $I = 25\text{mA}$ .

**Tabelle 1:** Reflektorspannungen, die Spannungsamplituden und die Frequenzen der drei Moden

Mode	$U/V$	$A/mV$	$f/s$
1.	83	119.9	8999
	95		
	105		
2.	135	152.4	8994
	150		
	165		
3.	215	138.7	8988
	230		
	245		



**Abbildung 2:** Anpassungsfunktionen für die Messwerte der drei Moden

## 4.2 Frequenz, Wellenlänge und Dämpfung

Die Abstände der Minima zu dem jeweiligen nächsten Minima betragen 113.0mm, 90.0mm, 65.0mm und 42.0mm. Für den Mittelwert der Wellenlänge im Hohlleiter ergibt sich  $(4,73 \pm 0,13)$  cm.

Die Dämpfung  $D$ , in Abhängigkeit von der Tiefe  $d$  der Mikrometerschraube des Abschwächers, ist in Tabelle 2 dargestellt. Dabei sind einmal die gemessenen Werte der Dämpfung  $D_1$ , sowie die Dämpfungswerte der Eichkurve  $D_2$  angegeben.

**Tabelle 2:** Dämpfungen in Abhängigkeit von der Tiefe der Mikrometerschraube

$d/\text{mm}$	$D_1/\text{dB}$	$D_2/\text{dB}$
1.0	0	2.1
1.7	0.2	5.9
2.0	0.6	7.9
2.5	2.7	11.0
2.8	4.9	14.0
2.9	6.0	15.0
3.0	6.8	16.0
3.1	8.1	18.0
3.2	8.9	19.0
3.3	10.0	20.0

## 5 Diskussion

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.