

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 53

Mikrowellen

Johannes Kollek Jean-Marco Alameddine
johannes.kollek@udo.edu jean-marco.alameddine@udo.edu

Durchführung: 12.06.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Allgemeine Theorie eines Reflexklystrons	3
2.2	Wellen in einem Hohlleiter	4
2.3	Stehwellenverhältnis	5
3	Aufbau und Durchführung	6
3.1	Aufbau	6
3.1.1	Versuchsaufbau für den ersten Versuchsteil	6
3.1.2	Versuchsaufbau für den zweiten Versuchsteil	6
3.1.3	Versuchsaufbau für den dritten Versuchsteil	7
3.2	Durchführung	8
3.2.1	Durchführung des ersten Versuchsteils	8
3.2.2	Durchführung des zweiten Versuchsteils	8
3.2.3	Durchführung des dritten Versuchsteils	9
4	Auswertung	10
4.1	Untersuchung der Moden	10
4.2	Bestimmung der Frequenz aus der Wellenlängenmessung	11
4.3	Bestimmung der Dämpfungskurve	11
4.4	Bestimmung der Welligkeit	13
5	Diskussion	14
5.1	Modus-Diagramm und elektrische Kenngrößen	14
5.2	Frequenzmessung	14
5.3	Dämpfungskurve	14
5.4	Welligkeitsmessung	15
	Literatur	16

1 Zielsetzung

Ziel des vorliegenden Versuches ist es, verschiedene Eigenschaften von Erzeugung sowie Ausbreitung von Mikrowellen zu untersuchen. Hierzu wird ein Reflexklystron sowie ein Hohlleiter in verschiedenen Aufbauten betrachtet.

2 Theorie

2.1 Allgemeine Theorie eines Reflexklystrons

Das Frequenzspektrum von Mikrowellen erstreckt sich von 300 MHz bis 300 GHz. In diesem Versuch wird zur Umwandlung von elektrischer in Mikrowellenenergie ein Reflexklystron benutzt. Es handelt sich hierbei um eine Mikrowellenröhre, deren Aufbau in Abbildung 1 wiedergegeben ist.

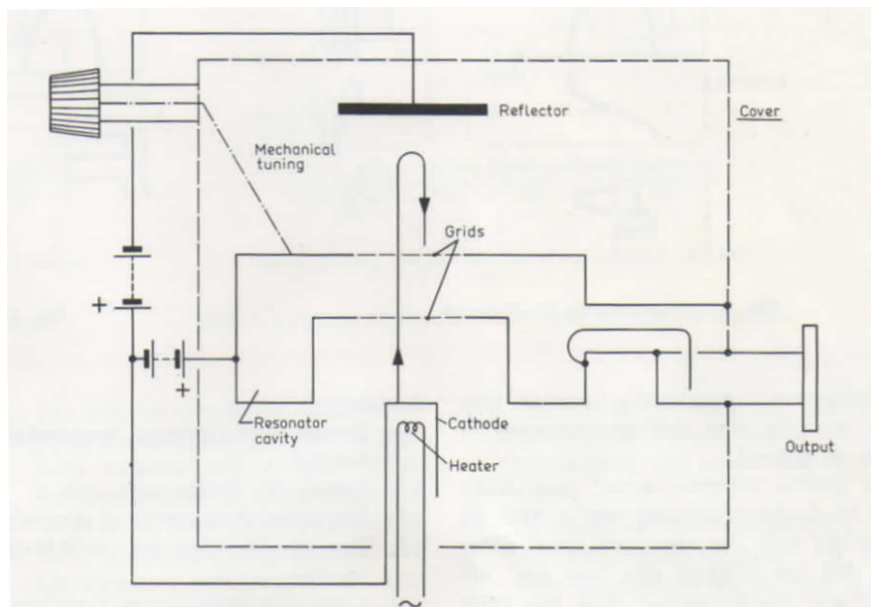


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Klystrons [1].

Es besteht hauptsächlich aus einem Glühdraht, einem Hochfrequenzresonator und einem Reflektor; letzterem verdankt es seinen Namen. Aus dem Glühdraht werden Elektronen emittiert, welche zum Resonator beschleunigt werden. Durchlaufen die Elektronen nun den Resonator, zwischen dessen Gittern ein Hochfrequenzfeld anliegt, tritt Geschwindigkeitsmodulation auf. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt.

Elektronen, die zu einem früheren Zeitpunkt A in das Hochfrequenzfeld eintreten, werden zusätzlich beschleunigt, wohingegen, welche die zu einem späteren Zeitpunkt B kommen, verlangsamt werden. Nach Passieren des Resonators werden die Elektronen am negativ geladenen Reflektor reflektiert und, bei richtig eingestellter Reflektorspannung, gelangen alle Elektronen zu dem selben Zeitpunkt wieder im Resonator an (bunching), an dem sie maximal abgebremst werden. Dies findet immer bei $(n + 3/4)$ der Periodendauer des Resonators statt. Die maximale Abbremsung gewährleistet die effektivste Umwandlung in Strahlungsenergie, welche sich im Output widerspiegelt.

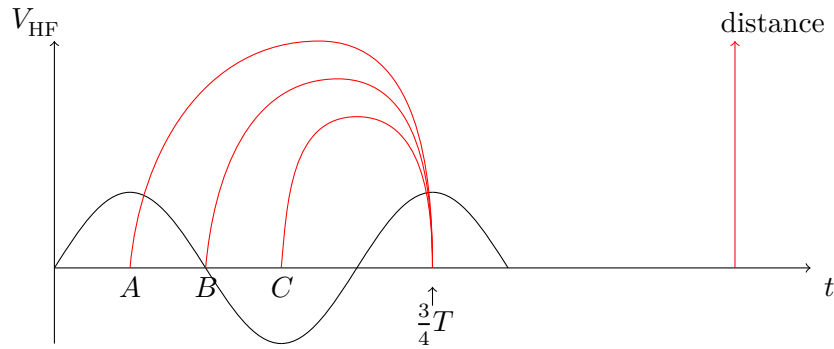


Abbildung 2: Darstellung der Geschwindigkeitsmodulation.

Wird die Reflektorspannung nun durchmoduliert, ergibt sich der Zusammenhang von Frequenz und Output, wie er in Abbildung 3 zu sehen ist.

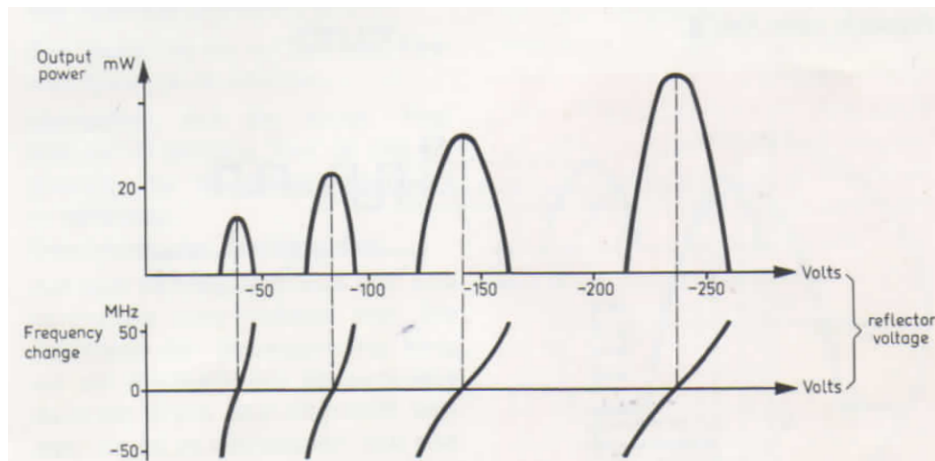


Abbildung 3: Typisches Signalbild des Versuchs [1].

Es sind immer dann Peaks zu sehen, wenn die Reflektorspannung gerade so eingestellt ist, dass ein Elektronenbunch zum Zeitpunkt maximaler Abbremsung in den Resonator zurückkommt. Ein Peak entspricht dabei einem Modus, welcher durch $(n + 3/4)T$, der Aufenthaltsdauer der Elektronen im Resonatorraum, definiert ist.

2.2 Wellen in einem Hohlleiter

In dem Hohlleiter breiten sich die vom Klystron erzeugten Mikrowellen aus. Die elektromagnetische Welle wird an jeder Unstetigkeit bzw. nicht charakteristischen Impedanz im Leiter reflektiert. Bei einer homogenen Leitung unendlicher Ausdehnung, sowie einer Leitung die mit einem Widerstand abgeschlossen ist der die charakteristische Impedanz der Leitung besitzt, treten keine Reflexionen auf. Im Falle von Reflexionen ergibt sich die Feldstärke durch Addition der Amplituden der einlaufenden und reflektierten Welle, wobei die Amplitude und Phase letzterer von der Amplitude und Phase der reflektierenden Impedanz abhängen. Durch die Addition bilden sich stehende Wellen im Leiter aus. Maxima entstehen dort, wo sich die Wellen gleicher Phase addieren, bei Minima haben sie entgegengesetzte Phasen. Der halbe Abstand zwischen zwei Maxima bzw. Minima definiert die Wellenlänge im Hohlleiter. Für einen mit Luft gefüllten Hohlleiter gilt für

die Wellenlänge

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

wobei λ_0 die Wellenlänge im freien Raum und

$$\lambda_c = 2a \quad (2)$$

die kritische Wellenlänge für eine Halbwellen-Änderung in eine Richtung eines rechteckigen Hohlleiters mit Breite a ist. Daher gilt

$$\lambda_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_g}\right)^2 + \left(\frac{1}{2a}\right)^2}} \quad (3)$$

und dadurch für die Frequenz

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

mit der Lichtgeschwindigkeit c im freien Raum.

2.3 Stehwellenverhältnis

Das Stehwellenverhältnis bzw. die Welligkeit S ist das Verhältnis von maximaler und minimaler Feldstärke im Hohlleiter

$$S = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}. \quad (5)$$

Es drei verschiedene Methoden die Welligkeit zu messen; die direkte, die "3 db-Methode" und die "Abschwächer-Methode".

Bei allen Methoden ist es üblich einen kleinen Teil der Leistung an der Leitung mit einer Sonde abzugreifen. Das Signal wird an einen Detektor weitergegeben. Bei der direkten Methode kann die Welligkeit direkt an einem SWR-Meter abgelesen werden. Diese Methode ist jedoch nur genau bei kleinen Welligkeiten, da bei großen die Sondentiefe erhöht werden muss, was zu Störungen führt. Die anderen beiden Methoden bieten dabei eine genauere Alternative.

Bei der "3 db-Methode" wird der Abstand zwischen zwei Punkten gemessen, an denen die Ausgangsspannung am Detektor den doppelten Wert des Minimums erreicht. Die Welligkeit ergibt sich dann aus der Formel

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

wobei d_1 und d_2 die oben beschriebenen Punkte darstellen.

Bei der "Abschwächer-Methode" wird das Maximum am Detektor dem Minimum über Einstellen eines Dämpfungsgliedes gleichgemacht. Dadurch folgt für die Welligkeit die Formel

$$A_2 - A_1 = 20 \log(S), \quad (7)$$

dabei sind A_1 und A_2 die Einstellungen des Abschwächers vor und nach der Anpassung.

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

3.1.1 Versuchsaufbau für den ersten Versuchsteil

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Mikrowellensteckplatz, welcher aus verschiedenen Bausteinen besteht. Diese werden je nach Versuchsteil zusammengebaut. Der als Erstes verwendete Aufbau ist in Abbildung 4 dargestellt.

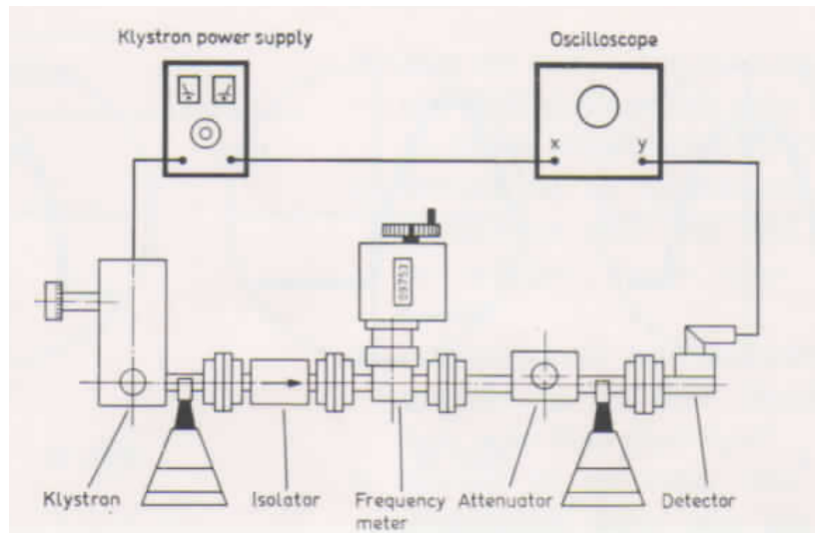


Abbildung 4: Skizze des Versuchsaufbaus für den ersten Aufgabenteil [1].

Der Hauptteil des Versuches bildet ein rechteckiger Hohlleiter. An dessen Anfang, in der Abbildung auf der linken Seite, befindet sich ein Reflexklystron zur Einspeisung der Mikrowellen. Dessen genauer Aufbau wird in Kapitel 2.1 erläutert. Das Klystron wird über eine Spannungsquelle versorgt, über die sowohl die Heizung für den Glühdraht als auch die Reflektorspannung geregelt werden. Es folgt ein Isolator, dessen primärer Effekt es ist, eine Rückstrahlung von Mikrowellen in das Klystron zu vermeiden, was zu dessen Beschädigung führen würde. Rechts davon wird ein Frequenzmesser angeschlossen, der auf eine feste Frequenz eingestellt werden kann. Diese Einstellung führt bei übereinstimmender Frequenz von Mikrowellen und Frequenzmesser zu einer leichten Abschwächung des Signals. Dieser Effekt in Verbindung mit einer Messapparatur wie dem Oszilloskop kann somit zur Messung der Mikrowellenfrequenz verwendet werden. Als nächstes auf dem Hohlleiter befindet sich ein einstellbares Dämpfungsglied, welches das Signal abschwächt. Über eine aufgedruckte logarithmische Skala kann die Schraubenstellung in die Dämpfungsstärke umgerechnet werden. In diesem Versuchsteil wird der Hohlleiter durch einen Detektor abgeschlossen, welcher mit einer Diode ausgestattet ist. Dessen Signal kann mithilfe eines Oszilloskopes ausgelesen werden.

3.1.2 Versuchsaufbau für den zweiten Versuchsteil

Der zum ersten Versuch leicht veränderte Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt. Während der Aufbau links vom Dämpfungsglied identisch bleibt, wird hinter ebendieses nun ein Stehwellen-Detektor geschaltet. Dieser besteht aus einer Millimeterschiene, über die eine Sonde

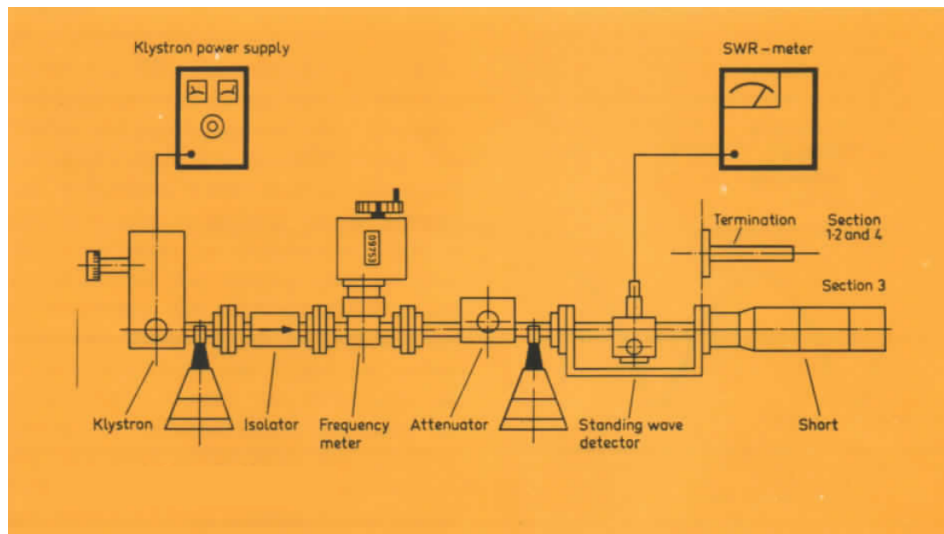


Abbildung 5: Skizze des Versuchsaufbaus für den zweiten Aufgabenteil [1].

in den Hohlleiter eingeführt werden kann. Die Tiefe der Sonde kann dabei variiert werden. Das entnommene Signal wird an ein SWR-Meter weitergeleitet. Mit diesem kann das Stehwellenverhältnis (siehe Kapitel 2.3) gemessen werden. Das Ende Hohlleiters bildet entweder ein Kurzschluss oder ein Abschluss, wodurch die Mikrowellen reflektiert bzw. absorbiert werden.

3.1.3 Versuchsaufbau für den dritten Versuchsteil

Für den dritten Versuchsteil wird wiederum ein leicht veränderter Aufbau vom zweiten Versuchsteil verwendet. Dieser ist in Abbildung 6 skizziert.

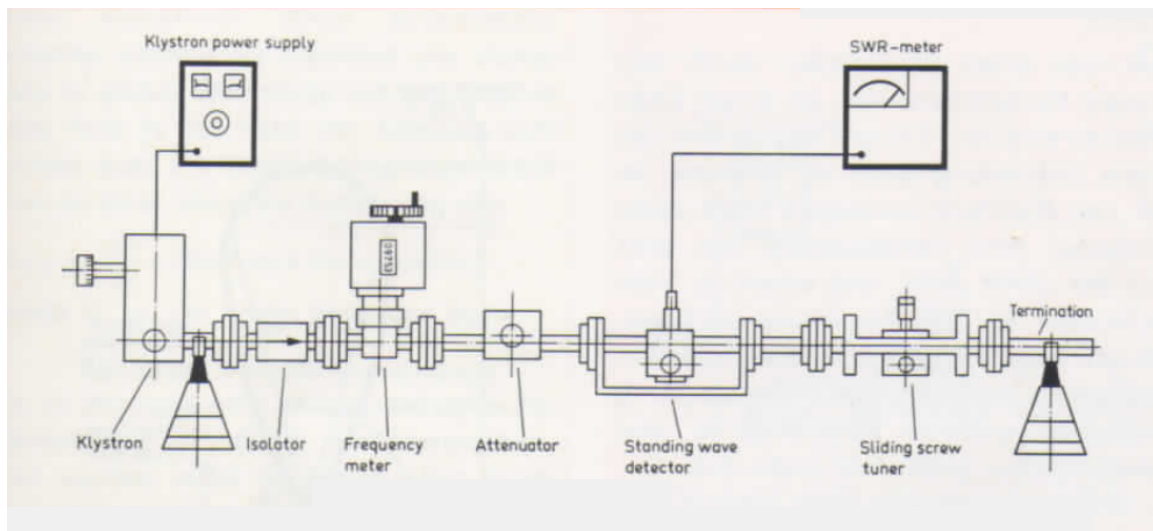


Abbildung 6: Skizze des Versuchsaufbaus für den dritten Aufgabenteil [1].

Als Ende des Hohlleiters wird diesmal fest ein Abschluss gewählt. Zwischen Abschluss und Stehwellendetektor wird jedoch noch ein Gleitschraubentransformator angebracht. Dieser besteht aus einem Stift, welcher in den Hohlleiter mit variabler Tiefe eingeführt werden kann. Über eine Schiene kann auch die horizontale Position eingestellt werden.

3.2 Durchführung

Bevor die eigentliche Durchführung der Versuchsteile beginnt, wird die Heizspannung für das Reflexklystron ca. 10 Minuten vor Versuchsbeginn eingestellt.

3.2.1 Durchführung des ersten Versuchsteils

Der Versuch wird wie in Abbildung 3.1.1 beschrieben aufgebaut. Das Dämpfungsglied wird auf den passenden Wert für 30 dB eingestellt. Die Reflektorspannung wird auf Wechselspannung gestellt und auf die x-Achse des Oszillographen gegeben, während das Signal des Detektors auf die y-Achse gegeben wird. Hierdurch ergibt sich eine Kurve, die wie in Abbildung 3 dargestellt, eine Mode repräsentiert.

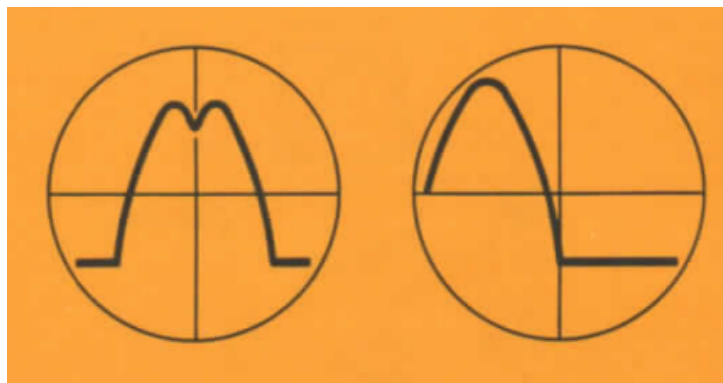


Abbildung 7: Beobachtete Bodenkurve [1]. Links der durch den Frequenzmesser verursachte "Dip". Rechts die Messung der unteren Reflektorspannung.

Die Reflektorspannung wird so gewählt, dass die Mitte der Mode mittig auf der x-Achse des Oszillographen liegt. Zusätzlich wird die Mittenfrequenz bestimmt, indem der Frequenzmesser zu eingestellt wird, dass ein "Dip" in der Mitte der Mode zu sehen ist, wie es links in Abbildung 7 dargestellt ist. Die Mittenfrequenz, die passende Reflektorspannung sowie die Amplitude der Mode werden notiert. Außerdem wird, wie in Abbildung 7 rechts dargestellt, die untere sowie auch die obere Spannungsansatz-Spannung gemessen. Dazu wird die Reflektorspannung so gewählt, dass sich ebendieses Bild ergibt.

Der gesamte Messvorgang wird für zwei weitere Moden wiederholt, welche in anderen Bereichen der Resonatorspannung zu finden sind.

Als weiterer Messprozess werden die Punkte der höchsten Mode gemessen, welche der vollen bzw. der halben Signalleistung entsprechen. Hierzu wird die Mode über die Reflektorspannung vertikal jeweils auf die Mitte der Mode, den linken Punkt der mittleren Leistung bzw. auf den rechten Punkt der mittleren Leistung zentriert. Die Frequenzen werden wiederum über den Frequenzmesser und den im Oszillographen beobachtbaren "Dip" ermittelt. Die Reflektorspannungen sowie die Frequenzen für die drei Punkte werden notiert.

3.2.2 Durchführung des zweiten Versuchsteils

Der Versuch wird wie in Abbildung 3.1.2 beschrieben aufgebaut, wobei zunächst der Abschluss eingebaut wird.

Das Reflexklystron wird mit einer Rechteck-Spannung moduliert Dämpfungsglied sowie die Einstellung des SWR-Meters so gewählt, dass ein maximaler Ausschlag am SWR-Meter innerhalb des Skalenbereiches zu beobachten ist. Es wird die im vorherigen Versuchsteil gefundene Mittenfrequenz der höchsten Mode verwendet.

Es wird nun der Abschluss durch den Kurzschluss ersetzt. Mithilfe des Stehwellen-Detektors werden zwei Punkte minimalen Ausschlags am SWR-Meter gesucht und dessen Position notiert.

Zuletzt wird eine Dämpfungskurve aufgenommen, wozu der Kurzschluss am Hohlleiter wieder durch einen Abschluss ersetzt wird. Das SWR-Meter wird so eingestellt, dass es bei einer vorgegebenen Einstellung durch das Dämpfungsglied einen maximalen Ausschlag von 0 dB anzeigt. Die Dämpfung wird nun verstärkt, bis jeweils ein Ausschlag von 2 dB, 4 dB, 6 dB, 8 dB, 10 dB am SWR-Meter abzulesen ist. Die Einstellungen des Dämpfungsgliedes an diesen Punkten werden notiert.

3.2.3 Durchführung des dritten Versuchsteils

Der Versuch wird wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben aufgebaut. Das Reflexklystron bleibt bei der im vorherigen Versuchsteil gewählten Einstellung. Es sollen die Stehwellenverhältnissen mit den in Kapitel 2.3 umschriebenen Methoden bestimmt werden.

Die erste Methode wird für die Einstellungen des Gleitschraubentransformators von 3 mm, 5 mm und 7 mm durchgeführt. Der Stehwellendetektor wird so platziert, dass das SWR-Meter ein maximales Signal detektiert. Dieses Signal wird durch die Einstellung des SWR-Meters auf 1,0 normiert. Daraufhin wird die Sonde in ein Minimum verschoben und der Wert des SWR-Meters dort gemessen.

Bei der zweiten Methode, der "3 dB-Methode", wird der Gleitschraubentransformator auf 9 mm eingestellt, was einem höheren Stehwellenverhältnis entspricht. Die Messsonde wird vertikal bewegt, bis sich ein Minimum am SWR-Meter ergibt. Dieses wird auf einen Wert von 3 dB normiert. Die Sonde wird nun einmal nach rechts und einmal nach links bewegt, bis sich ein Wert von 0 dB auf dem SWR-Meter ergibt. Diese Werte werden notiert.

Zum Schluss wird die "Abschwächer-Methode" genutzt, wobei auch hier der Gleitschraubentransformator auf 9 mm eingestellt wird. Wiederum wird die Sonde vertikal bewegt, bis das SWR-Meter ein Minimum anzeigt. Daraufhin wird das Dämpfungsglied auf 20 dB eingestellt und die Einstellungen am SWR-Meter so gewählt, dass dort ein Wert von 3 dB angezeigt wird. Die Sonde wird nun vertikal bewegt, bis das Signal ein relatives Maximum anzeigt. Das Dämpfungsglied wird an dieser Stelle so verstellt, dass das SWR-Meter wieder 3 dB anzeigt. Die Dämpfungsgliedeinstellung wird notiert.

4 Auswertung

4.1 Untersuchung der Moden

Zur Untersuchung der Moden wurden die Werte aus Tabelle 1 aufgenommen. Dabei steht V_0 für

Tabelle 1: Messdaten Modenbestimmung.

Mode	V_0 / V	V_1 / V	V_2 / V	A / mV	f / MHz
1	215	230	205	18	9000
2	140	150	120	20	9005
3	85	90	70	14	9010

die Reflektorspannung, bei der das Maximum des Modus liegt, V_1 und V_2 stehen für den Anfang und das Ende der Modenkurve, A_0 für die Amplitude und f für die dazugehörige Frequenz zum Maximum des Modus. Der Reflektorspannung wird jeweils eine Messungenauigkeit von $\delta V_{\text{Ref}} = 3 \text{ V}$ zugeordnet und der Frequenz eine Ungenauigkeit von $\delta f = 1 \text{ MHz}$. Aus diesen Werten resultiert das Modus-Diagramm aus Plot 8.

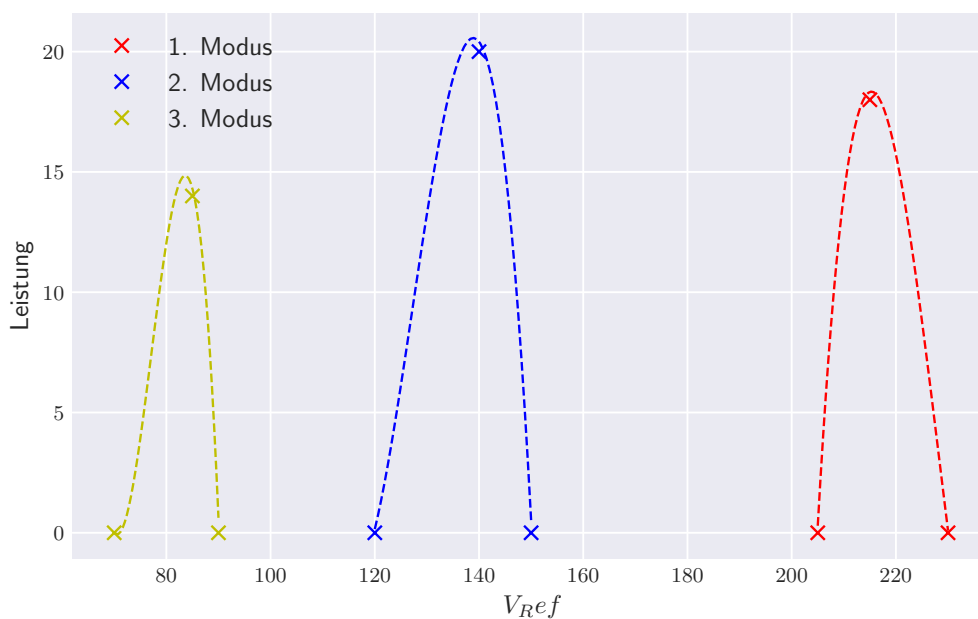


Abbildung 8: Modus-Diagramm über die ersten drei Moden.

Die Frequenzen und Spannungen halber Leistung des ersten Modus zur Berechnung der elektronischen Bandbreite und Abstimm-Empfindlichkeit sind in Tabelle 2 angegeben. Die elektronische

Tabelle 2: Messdaten Elektronische Abstimmung.

$V_{\text{Ref}} / \text{V}$	f / MHz
215	9000
205	8985
225	9017

Bandbreite berechnet sich nach

$$B = f_2 - f_1 \quad (8)$$

zu

$$B = (32 \pm 1) \text{ MHz.}$$

Die Abstimm-Empfindlichkeit wird über

$$A = \frac{f_2 - f_1}{V_2 - V_1} \quad (9)$$

zu

$$A = (1,6 \pm 0,3) \text{ MHz V}^{-1}$$

bestimmt.

4.2 Bestimmung der Frequenz aus der Wellenlängenmessung

Die Minima des Signals zur Bestimmung der Wellenlänge λ_g im luftgefüllten Hohlleiter liegen bei

$$\begin{aligned} r_1 &= 115,9 \text{ mm,} \\ r_2 &= 90,8 \text{ mm,} \end{aligned}$$

wobei die Lage des Schlittens auf 0,1 mm genau bestimmt werden kann. Das Doppelte der Differenz,

$$\lambda_g = (50,2 \pm 0,3) \text{ mm,}$$

entspricht dabei der Wellenlänge λ_g .

Aus dieser lässt sich nach Formel 4 die Frequenz des Hohlleiters mit einer Breite von $a = (22,860 \pm 0,046) \text{ mm}$ zu

$$f = (8869 \pm 25) \text{ MHz}$$

bestimmen.

4.3 Bestimmung der Dämpfungskurve

Die Messergebnisse zur Bestimmung der Dämpfungskurve sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Die Ungenauigkeit der Mikrometerschraube wird zu 0,01 mm geschätzt und kann deshalb im Plot vernachlässigt werden. Die diskreten Werte für die Dämpfung werden in Plot 9 an eine allgemeine Exponentialfunktion gefittet.

Tabelle 3: Messdaten Dämpfung.

SWR-Ausschlag / dB	Schraubenstellung / mm
0	0,60
2	1,32
4	1,61
6	1,95
8	2,20
10	2,59

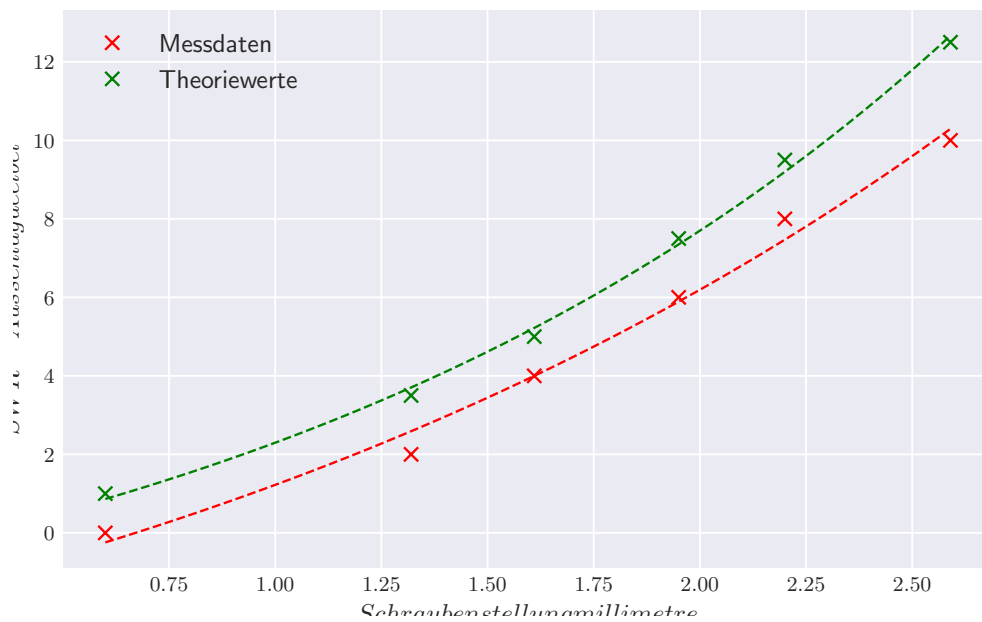


Abbildung 9: Dämpfungskurve.

Tabelle 4: Messung der Welligkeit über die direkte Methode.

Sondentiefe / mm	S
3	1,05
5	1,25
7	1,85
9	4,00

4.4 Bestimmung der Welligkeit

Die Messergebnisse bezüglich des direkten Ablesens der Welligkeit sind in Tabelle 4 einzusehen, wobei der Wert bei der Sondentiefe von 9 mm nicht hinreichend genau abgelesen werden konnte. Für die Sondentiefe 9 mm lauten die Schlittenpositionen für die 3db-Methode

$$\begin{aligned}d_1 &= 112,7 \text{ mm und} \\d_2 &= 110,9 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Aus der Formel 6 berechnet sich die Welligkeit zu

$$S = (8,95 \pm 0,69) \text{ dB.}$$

Zuletzt liefert die Abschwächermethode Dämpfungen von

$$\begin{aligned}A_1 &= 20 \text{ dB und} \\A_2 &= 38 \text{ dB,}\end{aligned}$$

für die Sondentiefe 9 mm, wobei diesen Werten jeweils eine Ungenauigkeit von 1 dB zugeordnet wird. Dies führt nach Formel 7 auf eine Welligkeit von

$$S = (9,00 \pm 0,71) \text{ dB.}$$

5 Diskussion

5.1 Modus-Diagramm und elektrische Kenngrößen

Bezüglich des Modus-Diagramms in Plot 8 fällt auf, dass der erste Modus deutlich kleiner ist als der zweite. Der Theorie nach müsste der erste Modus jedoch das größte Maximum besitzen, da die Elektronen in dieser Einstellung die größte kinetische Energie besitzen aufgrund der größten Reflektorspannung. Eine Erklärung könnte sein, dass bei einer so großen Reflektorspannung manche Elektronen, die den Glühdraht mit nicht hinreichend großer Energie verlassen, den Resonator aufgrund der hohen Abstoßung nicht mehr erreichen können. Die Intensität wäre daher abgeschwächt.

Der sonstige Verlauf der Moden bestätigt die Theorie, obgleich die aufgenommenen Kurven nicht ganz symmetrisch sind. Dies ist jedoch weniger ein Ablesefehler, als mehr ein systematischer Fehler gegeben durch den Versuchsaufbau.

Bei der Bestimmung der Abstimm-Empfindlichkeit,

$$A = (1,6 \pm 0,3) \text{ MHz V}^{-1},$$

ist ein systematischer Fehler beim Ablesen der Reflektorspannungen halber Leistung unterlaufen, da der Wert der linken Seite $V_{\text{Ref}} = 205 \text{ V}$ dem Anfangswert des Modus entspricht. Dies heißt, der Wert halber Leistung entspräche dem Wert der Nullleistung. Stattdessen wäre ein Wert im Intervall zwischen 205 V und 215 V zu erwarten gewesen.

5.2 Frequenzmessung

Die ermittelten Werte für die Frequenzmessung lauten

$$\begin{aligned} f_{\text{gem}} &= (8869 \pm 25) \text{ MHz}, \\ f_{\text{app}} &= (9000 \pm 1) \text{ MHz}. \end{aligned}$$

Dies entspricht einer Abweichung von

$$\delta f = 1,5 \text{ \%}.$$

Diese Abweichung ist relativ klein, jedoch ergibt sich keine Überschneidung der Fehlerintervalle.

5.3 Dämpfungskurve

Die aufgenommene Dämpfungskurve 9 entspricht in guter Näherung der wahren mit einem konstanten Offset. Dies lässt sich erneut nur durch einen systematischen Fehler im Aufbau erklären. Mögliche Erklärungen wären eine falsch geeichte Skala an der Schraube des Dämpfungsgliedes oder ein nicht berücksichtigter Offset im SWR-Meter

5.4 Welligkeitsmessung

Bei der direkten Messung der Welligkeit konnte der Wert für eine Sondentiefe von 9 mm aufgrund der logarithmischen Skala sehr schlecht abgelesen werden, daher kann dieser Messung keine Wertigkeit zugeordnet werden. Die 3db- und Abschwächermethode liefern dafür eine Welligkeit von

$$S_{\text{3db}} = (8,95 \pm 0,69) \text{ dB} \text{ und } S_{\text{abs}} = (9,00 \pm 0,71) \text{ dB}.$$

Dabei weist die 3db-Methode den kleineren Fehler auf. Der Unterschied der Fehler ist jedoch nicht signifikant genug, daher wird willkürlich die relative Abweichung von der Abschwächer- zur 3db-Methode berechnet. Sie beträgt

$$\delta S = 0,5 \, \%.$$

Diese Abweichung ist sehr klein; außerdem schneiden sich beide Fehlerintervalle.

Insgesamt weist dieser Versuch einige systematische Fehler auf, welche durch Ausschluss von Ablesefehlern nur durch den Aufbau erklärt werden können. Die 3db-Methode und die Abschwächer-Methode liefern beide unabhängig ähnliche Werte für die Welligkeit, daher kann nicht entschieden werden, welche Methode besser ist.

Literatur

- [1] *TU Dortmund - Fachbereich Physik : Fortgeschrittenenpraktikum Anleitung zu Versuch Nr. 53.* Juni 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/AnlMikrowelle.pdf>.