

## Versuch V53: Mikrowellen auf Hohlleiter

### Ziel der Arbeit

Es sollen die Eigenschaften von elektromagnetischen Wellen im Mikrowellenbereich untersucht werden. Als Mikrowellensender dient ein Reflexklystron dessen Funktionsweise genauer betrachtet wird.

### Literatur

Zur Vorbereitung auf den Versuch ist jedes Buch über Mikrowellentechnologie geeignet. In der Uni-Bibliothek stehen zahlreiche Bücher und Artikel zur Verfügung in denen die Grundlagen aber auch die Mikrowellenbauteile beschrieben sind. Die Erzeugung von Mikrowellen und speziell die Arbeitsweise des Reflexklystrons sowie die Wellenausbreitung in Hohlleitern ist besonders anschaulich in folgenden Büchern dargestellt.

1. A.M. Porties, H.D. Young, Berkley Physik Kurs 6, Vieweg  
<https://www.ub.tu-dortmund.de/katalog/titel/HT001049810>
2. A.J. Baden Fuller, Mikrowellen, Vieweg  
<https://www.ub.tu-dortmund.de/katalog/titel/HT000464851>
3. G. Klages, Einführung in die Mikrowellenphysik, Steinkopffverlag,  
<https://www.ub.tu-dortmund.de/katalog/titel/HT000917351>

### Vorbereitung

1. Machen Sie sich mit dem Aufbau und der Funktionsweise eines Reflexklystrons vertraut. Warum oszilliert das Klystron nur bei bestimmten Kombinationen von Strahlspannung und Reflektorspannung? Warum wird bei der mechanischen Abstimmung des Klystrons die Frequenz geändert? Wieso wird das Signal moduliert? [1,2]
2. Wieso gibt es in einem Hohlleiter eine Grenzwellenlänge und wodurch wird sie bestimmt? Wie ist die Wellenlänge im Hohlleiter mit der Wellenlänge im freien Raum verknüpft? [2]
3. Was ist ein Stehwellenverhältnis? Warum haben aufeinanderfolgende Minima eines stehenden Wellenfeldes einen Abstand einer halben Wellenlänge? Um eine teilweise Reflexion der einfallenden Welle zu erhalten, wird eine Störung in Form eines Stiftes mit Stifttiefen von 0 mm bis 9 mm in die Leitung eingefügt. Bei welcher Sondentiefe erwarten Sie die größte Welligkeit?[2]
4. Wie funktioniert eine Einwegleitung, ein Dämpfungsglied und eine Frequenzmessung in der Mikrowellentechnik? Wie werden Mikrowellen detektiert?[2]
5. Was bedeutet eine Dämpfung von 3dB, 6dB und 20dB?



## Versuchsaufbau

Der Grundaufbau (Abb.1) bleibt für alle Teilversuche gleich. Der Mikrowellensender besteht aus einem Reflexklystron, das an einen Hohlleiter angekoppelt ist und über ein Netzteil betrieben wird. Um eine Fehlanpassung zu verhindern, befindet sich hinter dem Klystron eine Einwegleitung, die aufgrund von gyromagnetischer Resonanz in die Übertragungsrichtung nur wenig, in entgegengesetzter Richtung stark dämpft. Das nächste Bauteil ist ein Frequenzmesser mit Ziffernanzeige im Mhz-Bereich, der aus einem koaxialen Resonator besteht. Zur möglichen Dämpfung der Mikrowellenleistung wird anschließend ein einstellbarer Abschwächer mit Absorptionsfolie verwendet. Je nach Aufgabe folgen weitere Bauteile wie Detektor oder Gleitschraubentransformator.

Da die zu messende Mikrowellenleistung meist sehr klein ist, wird die Reflektorspannung mit einer Rechteckspannung von 1kHz moduliert.

**Achtung:** Bevor das Klystron eingeschaltet wird, muß es mindestens eine Minute vorgeheizt werden. Hierzu wird bei ausgeschalteten 'Taster Res./Ref.' das Netzgerät eingeschaltet. Nach 1 min kann das Klystron durch drücken von Res./Ref. eingeschaltet werden. Das Netzgerät sollte erst ausgeschaltet werden, wenn ALLE Aufgaben erfolgreich bearbeitet worden sind.

## Meßprogramm und Auswertung

1. Untersuchung der Moden mit einem Oszilloskop. Stellen Sie das Dämpfungsglied auf 30dB und setzen Sie die Diode zum Messen der Mikrowellenspannung hinter das Dämpfungsglied. Die TE-Moden werden auf ein Oszilloskop im xy-Betrieb dargestellt. Der 0-30V, 50Hz Ausgang am Netzgerät wird für die Horizontalablenkung des Oszilloskopes genutzt. Bestimmen Sie die Ausgangsleistung und die Frequenz in Abhängigkeit von der Reflektorspannung und stellen Sie das Ergebnis graphisch dar. Dabei befindet sich die am Speisegerät angezeigte Reflektorspannung (ab einer Spannung von  $U=50V$ ) in der Mitte der Horizontalablenkung. Zu gegebener Klystronspannung soll die Modenzahl  $n$  und der Abstand  $L$  zwischen Resonator und Reflektor bestimmt werden. Hinweis: Für die Berechnung von  $L$  läßt sich  $n$  eliminieren, indem man die Gleichung für zwei benachbarte Moden hinschreibt und die Differenz bildet.

2. Für die Bestimmung der Wellenlänge und der Frequenz im Hohlleiter wird der verschiebbare Stehwellendetektor und der einstellbare Kurzschluß hinter den Abschwächer gebaut. Aus dem Abstand zweier aufeinanderfolgenden Minima bzw. Maxima des Stehwellenfeldes sollen die Wellenlängen im freien Raum, die Wellenlänge im Hohlleiter und die Grenzwellenlänge gemessen werden. Stellen Sie hierzu eine Reflektorspannung von  $U=200V$  und eine mittlere Dämpfung von ungefähr 20dB ein. Wählen Sie eine Modulation von 1kHz. Berechnen Sie aus diesen Daten die Frequenz und die Phasengeschwindigkeit der Welle im Hohlleiter.

3. Für die Bestimmung der Dämpfung des Mikrowellenfeldes wird der Abschluß durch einen Kurzschluß ersetzt. Die Mikrowellenleistung  $P$  wird als Funktion der Stellung der Mikrometerschraube  $d$  am Abschwächer mit dem SWR-Meter gemessen und mit der Eichkurve verglichen. Tragen Sie  $\log_{10}(P)$  als Funktion von  $d$  auf. Hinweis: Die Mikrometerschraube am Abschwächer hat einen Offset. Setzen Sie den Nullpunkt an die Stelle, an der sie beginnen eine Dämpfung zu messen.

4. Für die Bestimmung des Welligkeitsverhältnisses wird eine Störung in Form eines Gleitschraubentransformators zwischen Detektor und Abschluß eingebaut. Das Stehwellenverhältnis (SWR) soll mit verschiedenen Methoden bestimmt werden.

**direkte Methode:** Bei dieser Methode wird das Stehwellenverhältnis  $m$  direkt über den Reflexionsfaktor  $r$  bestimmt. Hierzu wird das Stehwellenverhältnis mit einer Detektorsonde abgetastet. Die Stifttiefe des Gleitschraubentransformators soll 0, 3, 5 und 7mm betragen. Wieso macht eine Stifttiefe von 9mm keinen Sinn?

**3 dB Methode:** Bei dieser Methode wird die Detektorsonde in ein Leistungsminimum gefahren. Aus den Positionen links  $d_l$  und rechts  $d_r$  des Leistungsminimums, an denen die Leistung doppelt so groß ist wie im Minimum, läßt sich das Stehwellenverhältnis berechnen.

**Abschwächer-Methode:** Bei dieser Methode wird das Stehwellenverhältnis über die Dämpfung bestimmt. Das SWR wird über die Differenz der Abschwächereinstellungen bestimmt, bei der die Mikrowellenleistung im Maximum mit der Leistung im Minimum, identisch ist.

Welche Vor- und Nachteile haben die einzelnen Methoden?