

# FP-Protokoll

Versuch Mikrowellen E105

Von Christian Funke und

Torge Szczepanek

19.10.98 und 20.10.98

Tutor: Maschke

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
1.1	Wellen in Hohlleitern . . . . .	3
1.2	Nichtreziproke Bauelemente . . . . .	4
1.3	Gunneffekt . . . . .	4
1.4	Antennen . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Versuchsaufbau und Aufgaben</b>	<b>6</b>
2.1	Eichkurven der Gunndiode . . . . .	6
2.2	Rückfluß- und Durchgangsdämpfung von Isolator und Zirkulator	6
2.3	Antennendiagramme . . . . .	7
2.4	Gewinnfaktoren . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Auswertung der Messdaten</b>	<b>9</b>
3.1	Eichkurven der Gunndiode . . . . .	9
3.1.1	Die drei Eichkurven . . . . .	9
3.1.2	Zusammenfassung . . . . .	10
3.2	Ausmessen der Bauteile . . . . .	11
3.2.1	Durchgangsdämpfung des Isolators . . . . .	11
3.2.2	Durchgangsdämpfung des Zirkulators . . . . .	11
3.2.3	Rückflußdämpfung des Isolators . . . . .	12
3.2.4	Rückflußdämpfung des Zirkulators . . . . .	12
3.2.5	Zusammenfassung . . . . .	13
3.3	Antennengewinn, Hauptstrahlbreite, Nebenmaximaunterdrückung	13
3.3.1	Bestimmung von $G_{Horn}$ . . . . .	13
3.3.2	Gewinnfaktoren der anderen Antennen . . . . .	14
3.3.3	Daten aus den Antennendiagrammen . . . . .	14
3.4	Quantitative Analyse der Antennendiagramme . . . . .	15
3.5	Tabelle mit den Werten . . . . .	15

# 1 Theorie

## 1.1 Wellen in Hohlleitern

Um die Ausbreitung von Wellen in Hohlleitern zu verstehen, macht man folgende vereinfachende Annahmen:

- keine freien Ladungsträger im Hohlleitermedium  $\Rightarrow \rho = 0$
- Medium homogen und verlustfrei
- Zeitabhängigkeit der Wellen  $\exp^{i\omega t}$
- Hohlleiterwände ideale Leiter

Die daraus resultierenden Maxwellgleichungen:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = i\omega\epsilon\vec{E} \quad (1)$$

$$\operatorname{div}\vec{H} = 0 \quad (2)$$

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -i\omega\mu\vec{H} \quad (3)$$

$$\operatorname{div}\vec{E} = 0 \quad (4)$$

besitzen mit den speziellen Randbedingungen eines Rechteckhohlleiters der Breite  $a$  und Höhe  $b$  als Lösungen Wellenmoden in Abhängigkeit vom  $m, n \in \mathbb{N}$ . Die Zahl  $m$  beschreibt die Anzahl der Halbwellen über die Breite  $a$ ,  $n$  die Anzahl der Halbwellen über  $b$ . Man unterscheidet zwei Arten von Wellen:

Bei  $TE_{mn}$  Wellen (Transversal-Elektromagnetischen-Wellen) hat das elektrische Feld keine Komponente in  $z$ -Richtung. (Diese Wellen nennt man auch H-Wellen.) Bei  $TM_{mn}$  Wellen (Transversal-Magnetischen-Wellen) das magnetische Feld. (Diese Wellen nennt man auch E-Wellen). Die Wellen breiten sich längs des Hohlleiters aus. Anders als Koaxialkabel stellen Hohlleiter einen Hochpaß dar, weil sie eine obere Grenzwellenlänge  $\lambda_c$  besitzen, ab der die Dämpfung keine Wellenausbreitung mehr zuläßt.  $\lambda_c$  hängt von der Geometrie des Hohlleiters, sowie von  $m$  und  $n$  ab. Die Mode mit maximalen  $\lambda_c$  heißt Grundmode. Für Rechteckhohlleiter ist die Grundmode die  $TE_{10}$ -Welle mit  $\lambda_c = 2a$ .

Die Wellen breiten sich im Hohlleiter mit der Leiterwellenlänge

$$\lambda_l = \lambda \left(1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

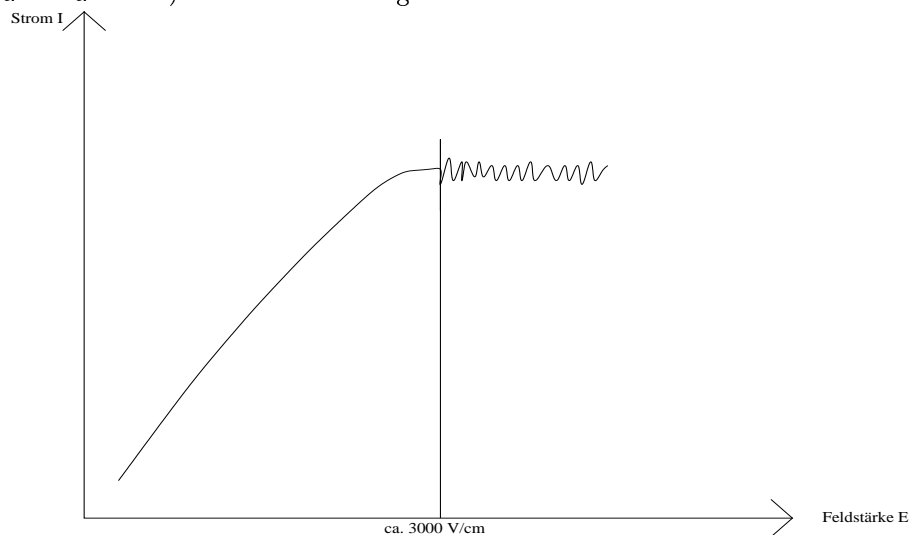
aus, wobei  $\lambda$  die Wellenlänge im Medium (hier: Luft, daher  $\lambda = \lambda_{\text{Vakuum}}$  wegen  $n_{\text{Luft}} = 1.000293$  ist).

## 1.2 Nichtreziproke Bauelemente

Für nichtreziproke Bauelemente benutzt man Eigenschaften von Ferriten. Ferrimagnete sind Nichtleiter. Daher können Mikrowellen mit deren Inneren in Wechselwirkung treten. In Ferriten koppeln die Spins der Atome antiparallel, aber unterschiedlich stark. Dadurch präzedieren die Spins in einem äußeren konstanten Magnetfeld mit ihrer Larmorfrequenz. Eine einlaufende linear polarisierte Welle kann in zwei zirkular polarisierte Wellen zerlegt werden. Stimmt die Kreisfrequenz mit der Larmorfrequenz überein, absorbiert die ferritmagnetische Substanz Leistung. Dieses Prinzip wird im Isolator genutzt. Strahlt man eine Welle mit einer Kreisfrequenz weit außerhalb der Resonanz ein, wirken auf die beiden zirkular polarisierten Anteile unterschiedliche effektive Permeabilitäten. Die so erzeugte Differenz der Ausbreitungsgeschwindigkeit dreht die Polarisationsebene (Faraday-Rotation) bzw. die Ausbreitungsrichtung  $\Rightarrow$  Prinzip des Zirkulators.

## 1.3 Gunneffekt

Mikrowellen lassen sich u.A. mit dem Gunneffekt erzeugen. Eine Gunnediode (GaAs Halbleiter) besitzt in etwa folgende Kennlinie:



Der zunächst ohmsche Verlauf geht ab einer Grenzspannung in hochfrequente Schwingungen über: Elektronen werden in sogenannte Satelliten-Leitungsbänder angeregt, wo ihre Beweglichkeit abnimmt. Sie sammeln sich in einer Hochfelddomäne, die mit einer durch  $E$  bestimmten Driftgeschwindigkeit durch den Halbleiter wandert. Baut man die Diode kürzer als  $100 \mu\text{m}$ , so gelangen die Domänen mit Frequenzen im GHz Bereich an die Anode  $\Rightarrow$  Mikrowellen. Die Gunn-Spannung liegt dann im Bereich von ca. 10 V.

## 1.4 Antennen

Zum Abstrahlen und Empfangen von elektromagnetischen Wellen benutzt man Antennen. Ihr Güte charakterisiert man durch

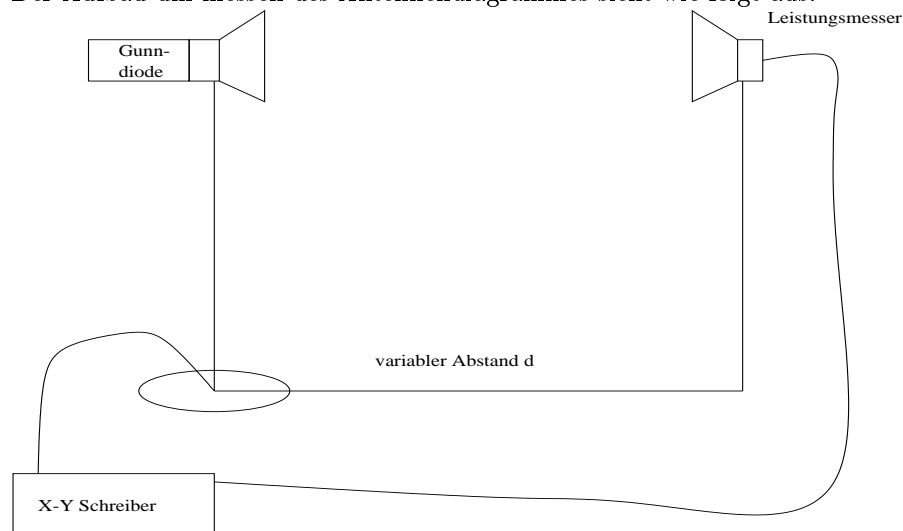
- Gewinnfaktor = Verhältnis der Empfangsleistung einer Antenne zur Empfangsleistung eines idealen Kugelstrahlers
- Hauptstrahlbreite = Bogenlänge in Grad zwischen beiden Punkten eines Kreises um die Antenne, an denen die Empfangsleistung auf die Hälfte (3 dB) des Maximums absinkt.
- Nebenmaximaunterdrückung = Differenz der Empfangsleistung im Hauptmaximum und im ersten Nebenmaximum, ausgedrückt in dB.

Der Gewinnfaktor einer Antenne läßt sich mit der Radargleichung und einer Bezugsantenne bestimmen:

$$\frac{P_{rec}}{P_{out}} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_1 G_2 \quad (6)$$

Die beiden anderen Größen können einem Antennendiagramm entnommen werden, wo die Empfangsleistung in Abhängigkeit vom Winkel zur Quelle dargestellt wird.

Der Aufbau um messen des Antennendiagrammes sieht wie folgt aus:



## 2 Versuchsaufbau und Aufgaben

### 2.1 Eichkurven der Gunndiode

Im ersten Versuchsteil soll die Erzeugung von Mikrowellen durch den Gunn-Effekt und ihre Ausbreitung in zwei typischen nichtreziproken Bauelementen der Mikrowellentechnik beobachtet und vermessen werden. Die mit der Gunndiode erzeugten Mikrowellen werden von einem kleinen Dipol in einen Hohlraumresonator eingestrahlt. Durch Adjustieren der Mikrometerschraube am Resonator und anschließendes einstellen der Versorgungsspannung auf einem Leistungsmaximum lassen sich Wellen einer bestimmten Frequenz einstellen. Zunächst sollen die Eichkurven der Gunndiode gemessen werden. Dabei sollen folgende Diagramme erstellt werden:

- Skalenteile der Mikrometerschraube gegen die Frequenz
- Gunn-Spannung gegen die Frequenz
- Ausgangsleistung gegen die Frequenz

Es ist jedoch zu beachten, das immer der Isolator in Durchgangsrichtung hinzugeschaltet ist, da ansonsten die Gunndiode beschädigt werden könnte. Hinter dem Isolator wurde noch ein Wellenlängenmesser und danach ein Leistungsmesser angebracht. Der Wellenlängenmesser konnte über eine Mikrometerschraube so eingestellt werden, das wir ein Leistungsminimum erreichten. Das Minimum zeigte uns, das wir am Wellenlängenmesser die Wellenlänge der Wellen im Hohlleiter eingestellt haben. So konnten wir durch die Einstellung auf das Minimum der Leistung die Wellenlänge messen. (Der Wellenlängenmesser absorbiert dann die Wellen der eingestellten Wellenlänge). Über eine Umrechnung können wir daraus die Wellenlänge der Mikrowellen bestimmen. Mit der gemessenen Leiterwellenlänge und der Breitseite  $a$  des Rechteckhohlleiters ergibt sich:

$$\lambda = \lambda_l \left(1 + \left(\frac{\lambda_l}{2a}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Mit  $\lambda \nu = c$  ergibt sich daraus die Frequenz der Mikrowellen im Rechteckhohlleiter.

### 2.2 Rückfluß- und Durchgangsdämpfung von Isolator und Zirkulator

In diesem Versuchsteil sollen die beiden nichtreziproken Bauteile Isolator und Zirkulator durchgemessen werden. Der Isolator dient zur Abschirmung von rückreflektierten Wellen. Er sollte also idealerweise Wellen nur in eine Richtung passieren lassen, ähnlich wie eine Diode also eine Durchlaß- und Sperrichtung besitzen. Der Zirkulator hat drei Anschlüsse. Seine Aufgabe besteht darin, Wellen von einem Eingang zyklisch auf den nächsten Anschluß zu leiten. Aufgrund seiner Geometrie und wegen des Ferritkerns im Innern so, daß idealerweise am jeweils dritten Anschluß keine Welle herausgeht. Für die Messung wird aber der unbenutzte Ausgang des Zirkulators mit dem sogenannten Wellensumpf abgeschlossen. Der Wellensumpf ist ein mit dämpfenden Material gefülltes, längliches Stück Hohlleiter, dessen Ende mit einer Metallplatte

abgeschlossen ist. Die dort reflektierten Wellen erfahren eine Dämpfung, so daß ihre Amplitude vernachlässigbar wird. Somit kann man den Wellensumpf als reflexionsfreien Abschluß betrachten. Die Messung besteht aus der Messung des Frequenzgangs der einzelnen Bauelemente jeweils in Durchlaßrichtung und in Sperrichtung. Zum Schutz der Gunnediode muß bei der Messung in Sperrichtung das nichtauszumessende Bauelement vorgeschaltet werden. Es sollen also die folgenden Anordnungen gemessen werden:

- Gunnediode - Isolator (GI)
- Gunnediode - Zirkulator (GZ)
- Gunnediode - Isolator - Zirkulator (GIZ)
- Gunnediode - Isolator - *Zirkulator<sub>Sperrichtung</sub>* (GIZs)
- Gunnediode - Zirkulator - *Isolator<sub>Sperrichtung</sub>* (GZIs)

Aus oben bestimmten Werten und dem Frequenzgang der Gunnediode kann man den Frequenzgang des einzelnen Elements (also Isolator und Zirkulator) bestimmen und zwar jeweils in Durchlaßrichtung und in Sperrichtung. Der Frequenzgang der Gunnediode kann aus den Messungen bestimmt werden, indem man drei Messungen kombiniert ( $GI + GZ - GIZ = G$ ). Ebenso können die Frequenzgänge der anderen Bauteile alleine mit ähnlichen Verfahren bestimmt werden.

### 2.3 Antennendiagramme

Für vier verschiedene Sendeantennen sind die Antennendiagramme zu messen. Es soll aus diesen die Strahlbreite und die Unterdrückung der ersten Nebenmaxima bestimmt werden. Die zu messenden Sendeantennen sind:

- Hornantenne
- dielektrischer Stielstrahler
- Parabolantenne mit Hornspeisung
- Schlitzantenne (Breiteseite)
- Schlitzantenne (Schmalseite)

Als Empfänger dient immer eine Hornantenne. Die Antennendiagramme werden auf einem X-Y Schreiber ausgegeben (rechtwinklige Koordinaten). Für einige Diagramme werden wir auch die Darstellung in Polarkoordinaten anfertigen. Es erscheint nicht sehr sinnvoll dieses für alle Diagramme zu tun.

### 2.4 Gewinnfaktoren

Für die gemessenen Antennen sind die Gewinnfaktoren in Hauptstrahlrichtung in Bezug auf einen Kugelstrahler zu bestimmen unter Zuhilfenahme der Radargleichung. Da wir als Sender und Empfänger jeweils eine Hornantenne benutzen, reduziert sich die Radargleichung zu

$$\frac{P_{rec}}{P_{out}} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_{Horn}^2 \quad (8)$$

mit dem Abstand  $d$  zwischen beiden Antennen und der Wellenlänge  $\lambda$  in Luft. Baut man nun zwei Hornantennen in einem variablen Abstand  $d$  auf, so daß sie sich genau gegenüber stehen, so kann man aus den Wertepaaren von  $d$  und  $P_{rec}$  den Gewinnfaktor  $G_{Horn}$  bestimmen. Es läßt sich jetzt auch mit Kenntnis des Peakwertes der einzelnen Antennen und mit dem Wert für  $G_{Horn}$  der Gewinnfaktor der anderen Antennen bestimmen.



### 3 Auswertung der Messdaten

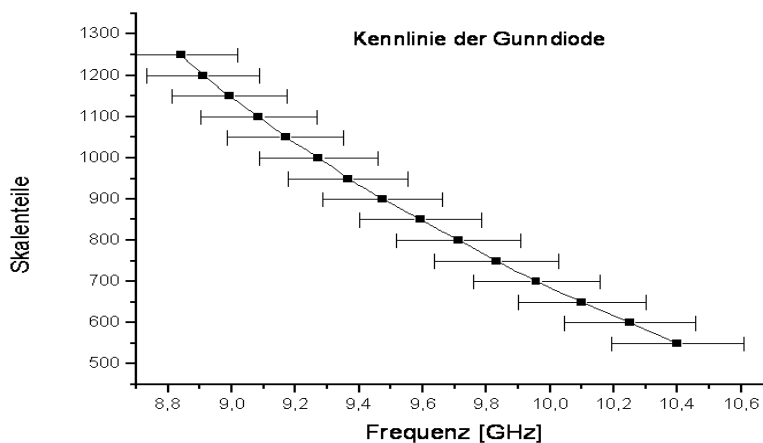
#### 3.1 Eichkurven der Gunndiode

##### 3.1.1 Die drei Eichkurven

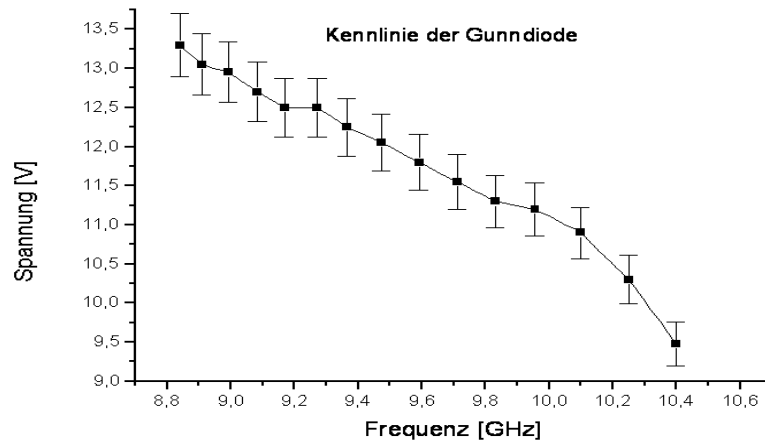
Die Kennlinie Skalenteile gegen Frequenz und Spannung gegen Frequenz der Gunndiode lassen sich sofort aus den gemessenen Daten ermitteln. Die Frequenz kann aus der Leiterwellenlänge und der Seite  $a$  des Hohlleiters bestimmt werden. Dies erfolgt nach:

$$\lambda = \lambda_l \left(1 + \left(\frac{\lambda_l}{2a}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

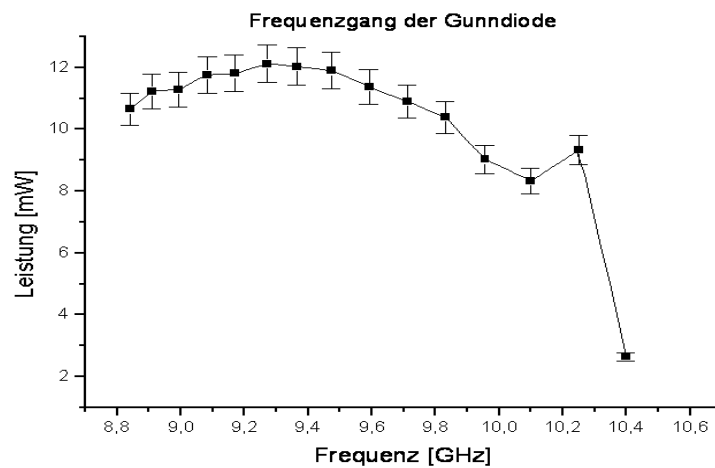
$a$  ermittelten wir zu  $a = 23 \pm 0,1 \text{ mm}$ .  $\lambda_l$  wurde mit Hilfe des Wellenlängenmessers bestimmt. Als Fehler wählten wir für die Leiterwellenlänge  $\pm 0,05 \text{ cm}$ , da die Einstellung über die Mikrometerschraube sehr ungenau war, da diese ein sehr merkwürdiges Verhalten bei Zug oder Druck auf dieselbe zeigte. Somit war eine genaue Einstellung auf die Wellenlänge nicht unbedingt möglich. Der Plot zeigt jedoch, dass sich eine sehr schöne Kurve ergibt, die keine größeren Abweichungen zeigt. Dies mag daran gelegen haben, dass wir die Mikrometerschraube immer versucht haben in der gleichen Art und Weise in Ihre Ruheposition zurückfallen zu lassen. Da wir ja ein Leistungsminimum am Leistungsmesser erreichen wollten, gestaltete sich dieses oftmals schwierig.



Die Kennlinie Spannung (Fehler 4%) gegen Frequenz der Gunndiode zeigt auch einen sehr schönen Verlauf der Kurve, die deutlich das Frequenzverhalten der Gunndiode mit der Spannung zeigt. Im Bereich zwischen 8,8 Ghz und 10 Ghz zeigt diese Kennlinie einen sehr schönen - fast schon linearen - Verlauf. Bei niedrigeren Spannungen als ca. 11 V fällt die Kurve stärker ab.



Die Leistungsabgabe der Gunndiode liegt im Bereich zwischen 8,8 Ghz und 9,8 Ghz zwischen 10 bis 12 mW. Im Bereich höherer Frequenzen gibt es einen sehr eindeutigen Einbruch bei der Leistung der Gunndiode. Das liegt daran, das in diesem Frequenzbereich die Spannung an der Gunndiode den kritischen Wert von ca. 10 V unterschreitet an dem noch Mikrowellen in der Gunndiode gebildet werden können.



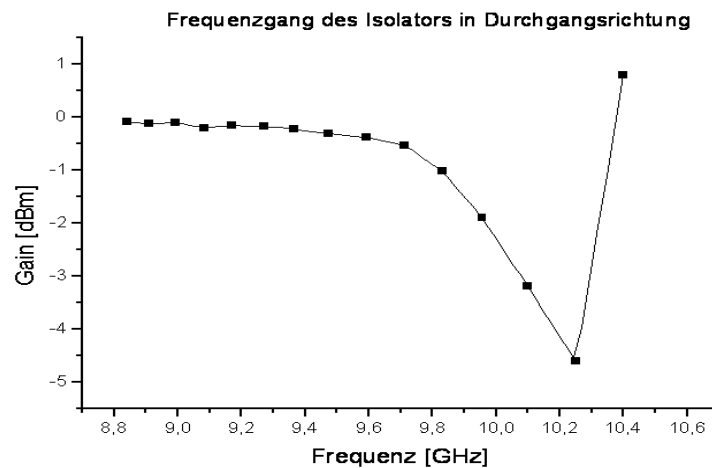
### 3.1.2 Zusammenfassung

Die Gunndiode arbeitet am besten in einem Bereich zwischen 8,8 und 9,8 Ghz. Die nötige Spannung für diesen Frequenzbereich liegt damit zwischen 11,5 und 13,5 V. Die maximale Leistung der Gunndiode erreicht man bei etwa 12 V, also einer Frequenz von 9,5 Ghz. Die maximal von uns erreichte Leistung liegt bei 12 mW für genau diese Frequenz und diese Spannung.

## 3.2 Ausmessen der Bauteile

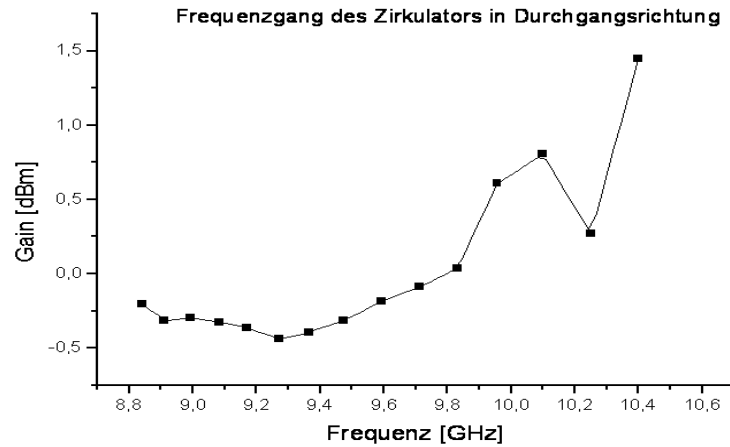
### 3.2.1 Durchgangsdämpfung des Isolators

Von der gemessenen Kurve GI wurde die Kennlinie der Gunnediode abgezogen, um den Frequenzgang des Isolators in Durchgangsrichtung alleine zu erhalten. Die Kurve wurde als dBm gegen Frequenz geplottet. Sie zeigt, dass für Frequenzen von 8,5 bis 9,6 GHz die Dämpfung in Durchgangsrichtung zu vernachlässigen ist. Der Ausreißer ist vielleicht dadurch zu erklären, dass wir irgendeinen Resonanzeffekt vorliegen haben, der die Leistung verstärkt. Er könnte durch irgendwelche Unebenheiten oder Kratzer entstanden sein, die sich innerhalb des Isolators befinden.



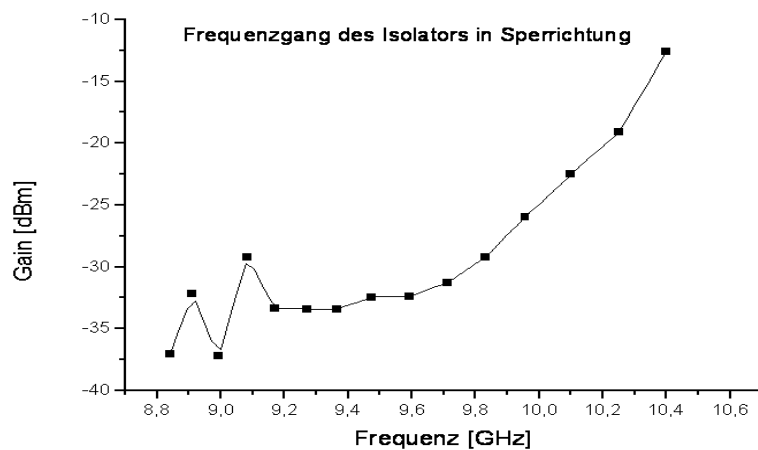
### 3.2.2 Durchgangsdämpfung des Zirkulators

Die Dämpfung des Zirkulators in Durchgangsrichtung ist ebenfalls relativ gering. Jedoch scheint auch hier (wie beim Isolator) bei hohen Frequenzen ein Resonanzeffekt vorzuliegen. Dieser tritt ab ca. 9,8 GHz auf.



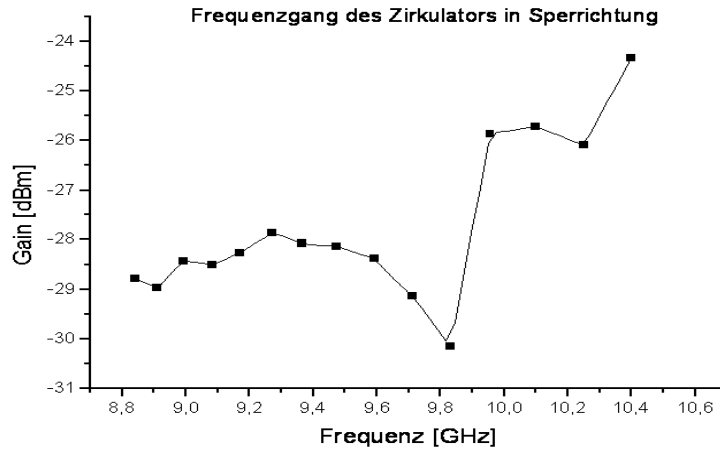
### 3.2.3 Rückflußdämpfung des Isolators

Der Isolator hat in Rückflußrichtung eine sehr gute Dämpfung. Sie liegt etwa im Bereich von -30 dBm. Ab 9,8 GHz läßt die Dämpfung aber deutlich nach. Bei über 10 GHz fließt schon ca. 10% der eingestrahelten Leistung wieder zurück.



### 3.2.4 Rückflußdämpfung des Zirkulators

Die Werte des Zirkulators sind verglichen mit dem Isolator etwas schlechter. Es wird ein wenig mehr Strahlung in der Rückflußrichtung durchgelassen. Ab 9,8 GHz ist auch hier wieder ein steiler Anstieg der Kurve zu erkennen, der deutlich macht, dass die Rückflußdämpfung für hohe Frequenzen nicht sehr gut gewährleistet ist.



### 3.2.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Bauelemente Ihre Aufgabe in dem von uns gemessenen Frequenzbereich für Frequenzen kleiner als ca. 10 GHz relativ gut erfüllen. Geht man jedoch zu höheren Frequenzen größer als 10 GHz über, so hat man in Durchgangsrichtung bei Zirkulator und Isolator mit Resonanzerscheinungen zu tun und in Rückflußrichtung dämpfen die Bauelemente nicht mehr so gut wie im Bereich kleiner 10 GHz. Auch ist die Leistung der Gunndiode im Bereich größer als 10 GHz nur noch sehr gering, so daß Messungen über 10 GHz wenig Sinn machen.

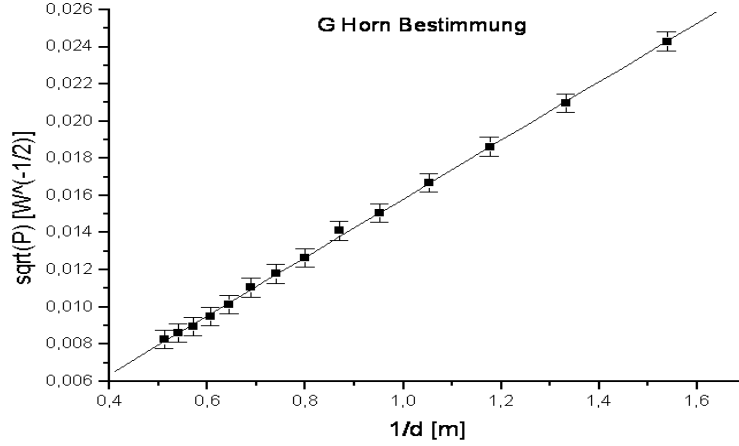
## 3.3 Antennengewinn, Hauptstrahlbreite, Nebenmaximaunterdrückung

Für die Messung der Gewinnfaktoren stellen wir an der Gunndiode eine Spannung von  $12,05 \pm 0,2V$  ein. Aus unserer Eich-tabelle erhalten wir für diesen Wert mit  $900 \pm 20$  Skalenteilen eine Frequenz von  $9,473 \pm 0,132$  GHz und eine Wellenlänge von  $3,163 \pm 0,044$ cm. Die gemessene Leistung der Gunndiode liegt bei  $11,9 \pm 0,3mW$  für diese Frequenz. Wir gehen davon aus, dass dies die gesamte abgestrahlte Leistung der Antenne ist.

### 3.3.1 Bestimmung von $G_{Horn}$

Die empfangene Leistung für verschiedene Entfernungen lesen wir am Powermeter ab tabellierten sie für verschiedene Entfernungen. Aus der Radargleichung folgt:

$$\sqrt{P_{rec}} = \frac{\sqrt{P_{out}} \lambda G_{Horn}}{d \sqrt{4\pi}} \quad (10)$$



Der Plot  $\sqrt{P_{rec}}$  gegen  $\frac{1}{d}$  liefert mir für die Steigung  $b = 0,01574 \pm 1,10273E-4$ . Dies ist nach der obigen Formel:

$$b = \frac{\sqrt{P_{out}} \lambda G_{Horn}}{4\pi} \quad (11)$$

Für  $G_{Horn}$  erhalten wir damit:

$$G_{Horn} = \frac{b4\pi}{\sqrt{P_{out}}\lambda} \quad (12)$$

Dies liefert uns für  $G_{Horn}$  einen Wert von  $57,324 \pm 1,207$ .

### 3.3.2 Gewinnfaktoren der anderen Antennen

Für die anderen Antennen können wir über

$$G_{?} = \frac{P_{rec}}{P_{out}} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{G_{Horn}} \quad (13)$$

den Gewinnfaktor bestimmen. Die Fehler hierzu sind in der Größenordnung von 5% bis 10 %.

### 3.3.3 Daten aus den Antennendiagrammen

Zur Bestimmung der Hauptstrahlbreite lesen wir bei -3 dB die entsprechende Breite aus den Antennendiagrammen ab. Die Nebenmaximaunterdrückung entspricht des Wertes im Peak des höchsten Nebenmaximums. Die Fehler liegen bei ca.  $\pm 2$  Grad für die Hauptstrahlbreite und bei ca. 2 dB für die Nebenmaximaunterdrückung.

### 3.4 Quantitative Analyse der Antennendiagramme

Die Antennendiagramme zeigen sehr schön die Charakteristika der verschiedenen verwendeten Antennentypen in einem Intervall von meist -90 Grad bis 90 Grad. Nur bei den Schlitzstrahlern konnten wir aufgrund der Versuchsanordnung nur in einem Winkelbereich von 90 Grad die Antennendiagramme vermessen. Sämtliche Antennendiagramme, die in einem 180 Grad Winkelbereich aufgenommen wurden, zeigen eine Asymmetrie, die eigentlich nicht existieren sollte. Normalerweise sollten alle Antennendiagramme symmetrisch zur 0 Gradlinie sein. Die von uns aufgezeichnete Asymmetrie liegt wohl an Rückstrahlungen der Wände des Versuchsaums. Es gab diese Wand nur in einem Bereich von -90 Grad bis etwa 20 Grad, so daß für alle Werte größer als 20 Grad andere Werte vorlagen, als auf der anderen Seite. Die Diagramme zeigen aber trotzdem sehr schön die verschiedenen Charakteristika der benutzten Antennen. Die Hornantenne hat keine Nebenmaxima, dafür aber eine sehr große Hauptstrahlbreite (15 Grad). Die Parabolantenne hat im Gegensatz dazu eine sehr schmale Hauptstrahlbreite (6 Grad) und eine große Leistungsabstrahlung in Hauptstrahlrichtung ( $G_{Parabol} = 115$ ). Sie eignet sich von allen gemessenen Antennen am besten für einen fokussierten Mikrowellen-Beam. Deswegen wird sie ja auch sehr häufig für die Datenübertragung verwendet. Der Stielstrahler besitzt in beiden Ebenen einen relativ breiten Hauptstrahl (ca. 16 Grad). Der Gewinnfaktor liegt bei etwa 40. Einzelne Nebenmaxima existieren bei dieser Antenne, sie sind jedoch sehr stark unterdrückt (ca. 18 dB). Die beiden Schlitzstrahler besitzen sehr viele Nebenmaxima. Der Antennengewinn dieser beiden Strahler ist sehr klein ( $G_{Schlitz} = 13$ )

### 3.5 Tabelle mit den Werten

Antenne	Gewinnfaktor	Hauptstrahlbreite	Nbmaxunterd.	Peakleistung
Schlitz schräg	12,71	8 Grad	12 dB	0,130 mW
Schlitz gerade	13,69	11 Grad	5 dB	0,14 mW
Parabol	115,43	6 Grad	12,5 dB	1,18 mW
Stiel (E)	38,93	15 Grad	17,5 dB	0,398 mW
Stiel (H)	41,28	17,5 Grad	18 dB	0,422 mW
Horn	56,93	15 Grad	-	0,582 mW