

Kurzer Bericht über die Untersuchung der Ausbrei-
zung von elektromagnetischen Wellen in Gebirgs-,
Flusstälern, Fjorden usw. mittels Mo-
dellen.

von
Fritz Vilbig

Wenn wir uns ein idealisiertes Modell eines Gebirgs-, Fluss-
tales oder Fjordes denken, so sehen wir, dass zwischen der Wellenaus-
breitung in Hohlleitern rechteckigen Querschnitts und in einem so
idealisierten Talmodell gewisse Ähnlichkeit besteht. Abb. 1 ^{S. 28} zeigt
ein idealisiertes Talmodell. Denken wir uns, dass dieses auch oben
abgeschlossen ist (in der Abb. 1 gestrichelt eingezeichnet), so se-
hen wir auch gleich die oben erwähnte Ähnlichkeit zwischen einem
Hohlleiter rechteckigen Querschnitts und einem idealisierten Tal-
modell. Im Hohlleiter unterscheiden wir drei verschiedene Polarisa-
tionen von elektromagnetischen Wellen, die, wie das sonst in der
Literatur üblich ist, mit H_{10} , H_{01} und E_{11} -Welle bezeichnet werden.
Wenn wir noch einmal die Abb. 1 betrachten, so sehen wir, dass
die H_{10} -Welle der vertikal polarisierten Welle entspricht, die
 E_{11} -Welle der horizontal parallel polarisierten Welle (die Paralle-
lität ist zu der Talwand gemeint) und schliesslich die H_{01} -Welle
der horizontal senkrecht polarisierten Welle. Es ist nun die Frage,
welchen Einfluss das Fehlen der oberen Seite auf die Ausbreitung
und Feldverteilung dieser verschiedenen polarisierten Wellen hat.
Betrachten wir zuerst die vertikal polarisierte Welle (A_V). Es
ist schon aus der Theorie der Ausbreitung von elektromagnetischen
Wellen in Hohlleitern rechteckigen Querschnitts bekannt, dass sich
im Hohlleiter nur diejenigen Wellen ausbreiten, deren Länge kürzer
ist als die Grenzwellenlänge des Hohlleiters. Für die vertikal
polarisierten Wellen bzw. für die H_{10} -Wellen ist für die Grenzwel-
lenlänge nur die Abmessung der Seite, die senkrecht zu dem Dipol
steht, massgebend, d.h. in unserem Fall die Breite des Tales. Für die
horizontal parallel polarisierten Wellen, bzw. E_{11} -Wellen sind für
die Grenzwellenlänge die beiden Abmessungen des Tales bzw. des
Hohlleiters massgebend, d.h. die Höhe und die Breite des Tales. Weil
aber die obere Seite offen ist, ist anzunehmen, dass die elektrische

Höhe des Tales ganz undefiniert ist. Dadurch wird für die Grenzwellenlänge, genau wie auch bei der vertikal polarisierten Welle nur die Breite des Tales massgebend. Zum Schluss müssen wir noch die horizontal senkrecht polarisierte Welle betrachten. In diesem Falle wäre die Grenzwellenlänge mit der Höhe des Tales bzw. des Hohlleiters bestimmt. Dabei ist aber durch das Fehlen der oberen Seite die elektrische Höhe des Tales völlig unbestimmt, demzufolge ist auch die Grenzwellenlänge unbestimmt.

Als Modell dient ein aus Holz und verzinntem Eisenblech nachgebildetes Tal von 91 cm Talsohlenbreite, 196 cm Höhe sowie 8 m Länge. Die übrigen Abmessungen des Modells sind aus der Abb. 2 ^{S. 28} ersichtlich. Die Eisenblechplatten sind mit einander vernietet und dann noch verlötet. Am Modell befand sich noch eine Halteanordnung für den Empfänger, die uns ermöglichte, den Empfänger in und oberhalb des Tales hin- und herzubewegen. Als Empfänger diente ein Dipol von etwa 30 cm Länge mit einem Thermomumformer und Galvanometer. Die Ausschläge des Galvanometers waren bei Vorversuchen photographisch registriert und nachher bei Messungen mit einem Fernrohr aus einer Entfernung von etwa 10 m abgelesen.

Als Sender diente ein UKW-Sender, dessen Wellenlänge im Bereich von 1,0 bis 3,0 m veränderbar war.

Bevor die Messungen besprochen werden, seien noch einige Bemerkungen über die verschiedenen Bezeichnungen der Messungen gebracht. Wie schon oben erwähnt wurde, werden die vertikal polarisierten Wellen mit A_v , wenn der Senderdipol vertikal steht, die horizontal parallel polarisierten Wellen mit A_{hp} , wenn der Senderdipol horizontal aber senkrecht zur Talwand steht, bezeichnet. Die drei Raumkoordinaten liegen wie folgt: Die Breite des Tales liegt in der x-Achse, die Höhe in der y-Achse und die Länge in der z-Achse. Der Nullpunkt des Raumkoordinatensystems liegt, wie das auch aus der Abb. 3 ^{S. 28} hervorgeht, in der rechten unteren Ecke am Anfang des Tales. In der gleichen Abb. 3 sind auch weitere Bezeichnungen eingetragen. Die Masse sind immer in cm angegeben. Die Lage des Senders und Empfängers wird immer mit allen drei Koordinaten angegeben. Weil aber die Lage des Empfängers bei der Messung geändert wird, sind auch die Grenzen innerhalb welchen die Lage geändert wird, angege-

ben. Z.B.: E ($x = 45,5$; $y = 0-200$; $z = 670$) d.h. der Empfänger wird in der Mitte des Tales ($x = 45,5$) und in einer Entfernung von 670 cm Anfang des Tales ($z = 670$), von unten nach oben durchgefahren ($y = 200$).

Messungen.

Als erstes wurde der Grenzwelleneffekt untersucht. Bei der vertikal polarisierten Welle, ist für die Grenzwellenlänge, die Breite des Tales massgebend. Eine Messung der Grenzwellenlänge, bzw. der Grenzfrequenz zeigt die Abb. 4. ^{S. 18} Bei dieser Messung stand der Sender in der Mitte und in halber Höhe des Tales und in einer Entfernung von 50 cm vom Anfang des Tales. Der Empfänger befand sich auch in der Mitte und in halber Höhe des Tales, 150 cm vom Senderdipol entfernt. Die Rechnung ergibt für die Grenzwellenlänge $\lambda_{gr} = 2 \cdot a = 182$ cm, bzw. $f_{gr} = 164,8$ MHz, dabei ist mit a die Breite des Tales bezeichnet. Wir sehen aus der Abb. 4, ^{S. 18} dass das Instrument bei Frequenzen, die unterhalb der Grenzfrequenz, bzw. bei Wellenlängen, die oberhalb der Grenzwellenlänge liegen, überhaupt nichts anzeigt, Dabei kann man mit dem Empfänger ganz nahe an den Senderdipol herankommen. Die Abb. 5 ^{S. 28} zeigt die Feldverteilung in einem Querschnitt des Tales. In der Abb. 5, wie auch in allen folgenden, ist die gerechnete Feldverteilung in rechteckigen Hohlleitern immer für die entsprechende Feldkomponente punktiert eingezeichnet. Für die Feldverteilung ist es dabei ziemlich gleichgültig, ob sich der Sender an der Sohle des Tales, in halber Höhe des Tales oder ganz oben befindet.

Bei der Ausbreitung von vertikal polarisierten Wellen im Tal zeigt also auch die Messung das Vorhandensein des Rohrwelleneffektes. Die Grenzwellenlänge ist gleich der zweifachen Breite des Tales. Die Feldverteilung im Tal weist grosse Ähnlichkeit mit der Feldverteilung der H_{10} -Welle im Hohlleiter rechteckigen Querschnitts auf.

Bei den horizontal parallel polarisierten Wellen hängt die Grenzwellenlänge nur von der Breite des Tales und nicht von der Breite und von der Höhe des Tales, wie das schon oben erwähnt wurde, ab. Die Messung der Grenzfrequenz, die einen ähnlichen Verlauf wie die Messung hat, die in der Abb. 4 wiedergegeben ist,

zeigte, dass durch das Fehlen der oberen Seite die Höhe des Tales als elektrisch unendlich gross betrachtet werden kann und die Grenzfrequenz nur von der Breite des Tales abhängt. Die hier gemessene Grenzfrequenz ist demzufolge gleich der Grenzfrequenz, die bei der vertikal polarisierten Welle gemessen wurde, dh. $f_{gr} = 165 \text{ MHz}$. Die Feldverteilung in einem Querschnitt des Tales zeigt Abb. 6. *S.29*

Bei der Ausbreitung von horizontal parallel polarisierten Wellen im Tal zeigt sich ebenfalls der Grenzwelleneffekt. Die Grenzwellenlänge ist gleich der zweifachen Talbreite. Die Feldverteilung ähnelt sehr stark der Feldverteilung der E_{11} -Welle im Hohlleiter rechteckigen Querschnitts.

Wie schon anfangs erwähnt wurde, hat die horizontal senkrecht polarisierte Welle keine Grenzwellenlänge, weil durch das Fehlen der oberen Seite die elektrische Höhe des Tales völlig undefiniert ist. Die Grenzwellenlänge konnte man auch messtechnisch nicht feststellen. Die Feldverteilung in einem Querschnitt des Tales zeigt Abb. 7 *S.30*

Bei der Ausbreitung von horizontal senkrecht polarisierten Wellen im Tal tritt also kein Grenzwelleneffekt sondern nur ein Dämpfungsminimum auf. Die Feldverteilung im Tal hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Feldverteilung der H_{01} -Welle im Hohlleiter rechteckigen Querschnitts.

Aus den Messungen der Feldverteilung in einem Querschnitt, in und oberhalb des Tales, sind die Kurven gleicher Feldstärke rekonstruiert. So gewonnene Bilder zeigen Abb. 8, 9 und 10. Die Abb. 8 bezieht sich auf vertikal polarisierte Wellen, Abb. 9 auf horizontal senkrecht polarisierte Wellen und Abb. 10 auf horizontal senkrecht polarisierte Wellen. Im linken Teil jeder Abbildung ist immer der Verlauf von Kurven gleicher Feldstärke für einen rechteckigen Hohlleiter eingezeichnet. *S.29* *S.30*

Steht der Sender ausserhalb des Tales und zwar vor dem Tal, so dringen in das Tal nur die Wellen, deren Wellenlänge kürzer ist wie die Grenzwellenlänge des Tales. Diese Messungen zeigen Abb. 11, 12 und 13. Die Abb. 11 zeigt die Feldstärke der E_y -Komponente entlang des Tales und zwar die Kurve bezeichnet mit a bezieht *S.30*

sich auf eine Grenzwellenlänge, deren Länge länger ist wie die Grenzwellenlänge des Tales. Aus der Kurve a kann man genau die Verlängerung der Wellenlänge im Tal erkennen (wie das auch der Fall bei der Wellenausbreitung im Hohlleiter ist). Die Kurve b zeigt ausserordentlich grosse Dämpfung der Wellen im Tale, deren Wellenlänge länger als die Grenzwellenlänge des Tales ist. Die Abb. 12 ^{S.30} zeigt die Feldstärke der E_z -Komponente der horizontal parallel polarisierten Welle entlang des Tales. Auch hier bezieht sich die Kurve a auf eine Wellenlänge, deren Länge kürzer ist als die Grenzwellenlänge des Tales und Kurve b auf eine Wellenlänge, deren Länge länger ist als die Grenzwellenlänge des Tales. Abb. 13 ^{S.30} zeigt die Feldstärke der E_x -Komponente der horizontal senkrecht polarisierten Welle entlang des Tales. In allen letzten drei Abbildungen ist punktiert die $1/r$ Kurve eingetragen.

Steht der Sender vor dem Tal, dringen in das Tal nur die Wellen, deren Länge unterhalb der Grenzwellenlänge des Tales liegt. Ausgenommen sind die horizontal senkrecht polarisierten Wellen, die bei jeder Wellenlänge in das Tal mehr oder weniger gedämpft eindringen.

Steht der Sender ausserhalb des Tales, und zwar so, dass sich die Wellen quer über das Tal fortpflanzen, zeigen sich folgende zwei Erscheinungen:

- 1) Bei vertikal und horizontal parallel polarisierten Wellen, deren Länge länger ist als die Grenzwellenlänge des Tales, dringt in das Tal die ordentliche Komponente der Wellen überhaupt nicht ein, aber im Tal bildet sich eine Komponente des elektrischen Feldes, deren Polarisation horizontal senkrecht ist.
- 2) Bei vertikal und horizontal parallel polarisierten Wellen, deren Wellenlänge kürzer ist, als die Grenzwellenlänge des Tales dringt in das Tal die ordentliche Komponente, aber es bildet sich im Tal auch eine Komponente des elektrischen Feldes, deren Polarisation horizontal senkrecht ist.
- 3) Das Entstehen der ausserordentlichen Komponente im Tal verursacht bei den Peilungen im und oberhalb des Tales Mißweisungen.

Die Feldverteilung der vertikal polarisierten Welle, deren Länge kürzer ist als die Grenzwellenlänge, zeigt Abb. 14. ^{S.30} In der Abb. 14 ist mit E_x die im Tal entstandene Komponente des elektrischen Feldes bezeichnet. Die Feldverteilung oberhalb des Tales zeigt

15 Abb. 15 und Abb. 16. In der Abb. 15 ist gestrichelt die Feld-
 16 verteilung eingezeichnet, wenn das Tal mit einer Blechplatte zu-
 gedeckt war. Die Abb. 16 zeigt die Feldverteilung der im Tal
 17 entstandenen Komponente oberhalb des Tales. Die Abb. 17 ^{S. 31} zeigt
 die Feldverteilung im Tal, wenn die Wellenlänge länger ist als
 die Grenzwellenlänge des Tales. In der Abbildung sieht man
 genau das langsame Verschwinden der ordentlichen Komponente sowie
 die Feldstärkeverteilung der ausserordentlichen Komponente.

18 Abb. 18 ^{S. 31} zeigt die Feldstärkeverteilung der horizontal
 parallel polarisierten Wellen in einem Querschnitt des Tales
 bei einer Wellenlänge, die kürzer ist als die Grenzwellenlänge
 des Tales. Bei einer Wellenlänge, die länger ist als die
 Grenzwellenlänge des Tales, sind die Verhältnisse genau wie bei
 der vertikal polarisierten Welle.

Bei der Ausbreitung vertikal polarisierten Wellen quer über
 das Tal dringen in das Tal nur Wellen, deren Wellenlänge kleiner
 ist als die Grenzwellenlänge des Tales. Im Tal selbst entsteht
 immer eine horizontale Komponente des elektrischen Feldes, die
 quer zur Talwand steht, dabei ist es gleichgültig, ob die Wellen-
 länge grösser oder kleiner ist als die Grenzwellenlänge des
 Tales.

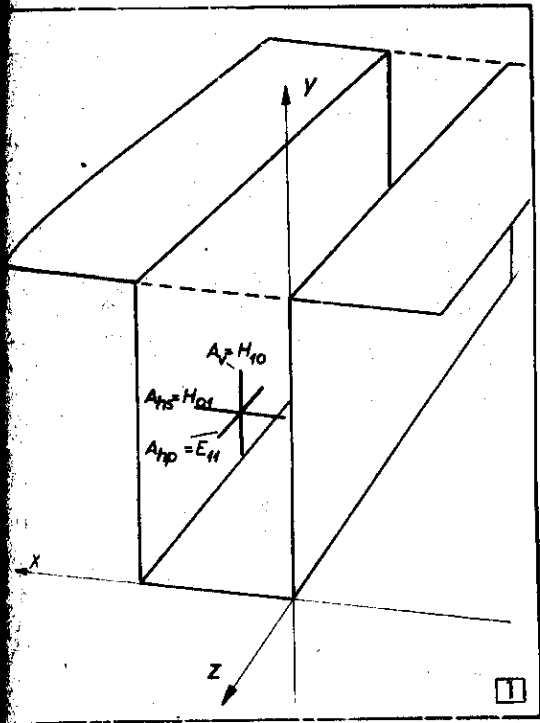
Bei der Ausbreitung horizontal parallel polarisierten Wellen
 quer über das Tal, dringen in das Tal nur Wellen ein, deren
 Wellenlänge kleiner ist als die Grenzwellenlänge des Tales. Im
 Tal selbst entsteht immer eine horizontale Komponente des elek-
 trischen Feldes, die quer zur Talwand steht. Dabei ist es gleich-
 gültig, ob die Wellenlänge grösser oder kleiner ist als die
 Grenzwellenlänge des Tales.

Die Untersuchung der Ausbreitung von vertikal senkrecht po-
 larisierten Wellen, die sich quer über das Tal fortpflanzen,
 wurde wegen messtechnischen Schwierigkeiten nicht durchgeführt.
 Diese Schwierigkeiten bestehen darin, dass der Dipol, wenn er
 horizontal senkrecht polarisierte Wellen ausstrahlt, gerade in
 der Richtung des Tales das Strahlungsminimum hat.

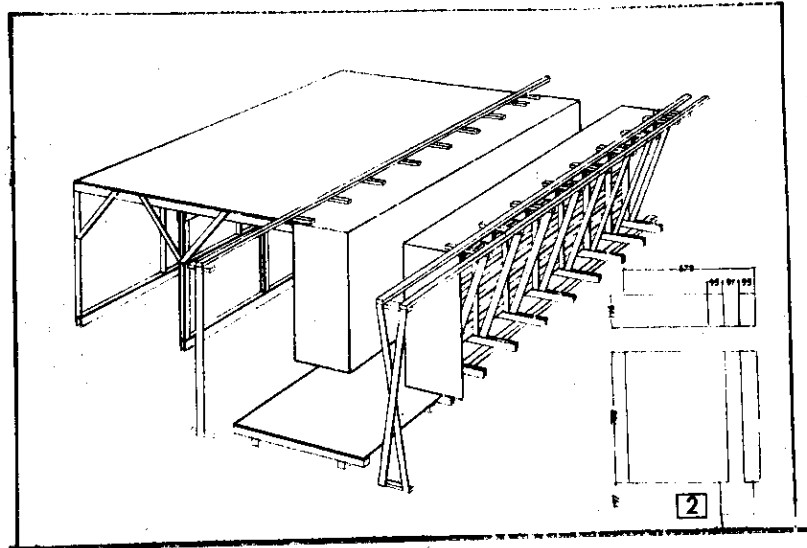
Es wurde noch eine Messreihe am Modell mit schrägen Tal-
 wänden gemacht. Die Messungen haben im wesentlichen nichts Neues
 gebracht, sondern nur, dass sich mit der Höhe über der Talsohle
 die Grenzwellenlänge des Tales ändert, weil sich auch die Breite
 des Tales ändert.

Wir sehen, dass durch diese Messungen eine weitgehende Ähnlichkeit zwischen der Wellenausbreitung in Hohlleitern rechteckigen Querschnitts und der Wellenausbreitung in Fluss-, Gebirgstälern, Fjorden usw. bewiesen ist.

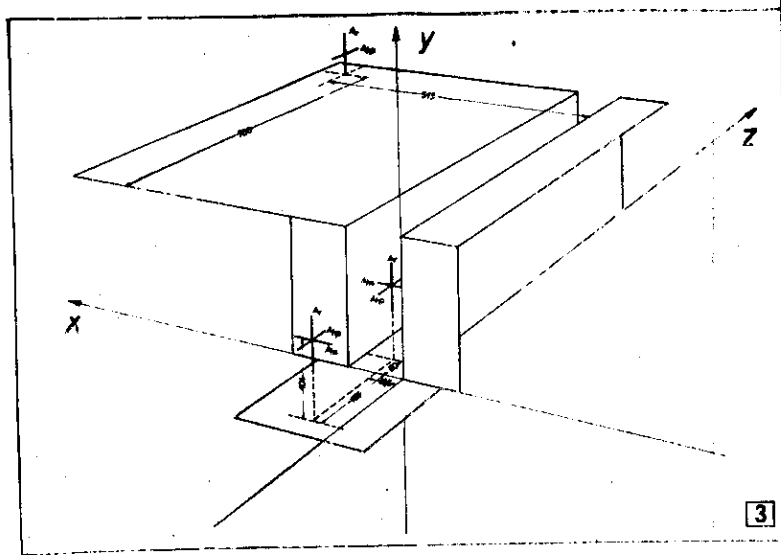
Mit obenbeschriebenen Messungen kann man viele Messungen, die in Gebirgs-, Flusstälern usw. gemacht wurden, richtig erklären. Besonders soll hier auf die Messungen hingewiesen werden, die V. Fritsch: Ausbreitung elektromagnetischer Felder längs Flußläufen; H. und E. Bd. 1 (1933) H. 3 S. 100; Mitteilung über die Radioversuche auf der Donau zwischen Wien und Passau, H. und E. Bd. 47 (1936) H. 3, S. 89 und Mitteilung über die Funkversuche im Sommer 1936 auf der Donau zwischen Passau und Russe; H. und E. Bd. 49 (1937) H. 3, S. 94 beschrieben waren. Hier erklärt er die aussergewöhnlich hohe Dämpfung der mittleren und langen Wellen mit einer frequenzabhängigen Dämpfung und zwar so, dass mit zunehmender Frequenz die Dämpfung abnimmt.



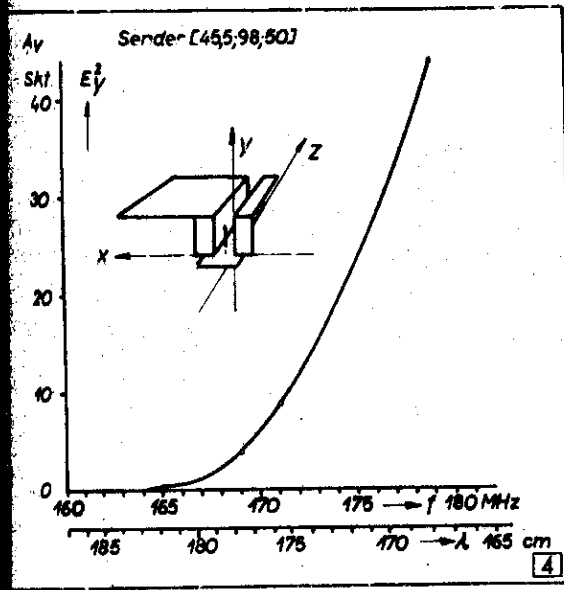
7 zu S. 21



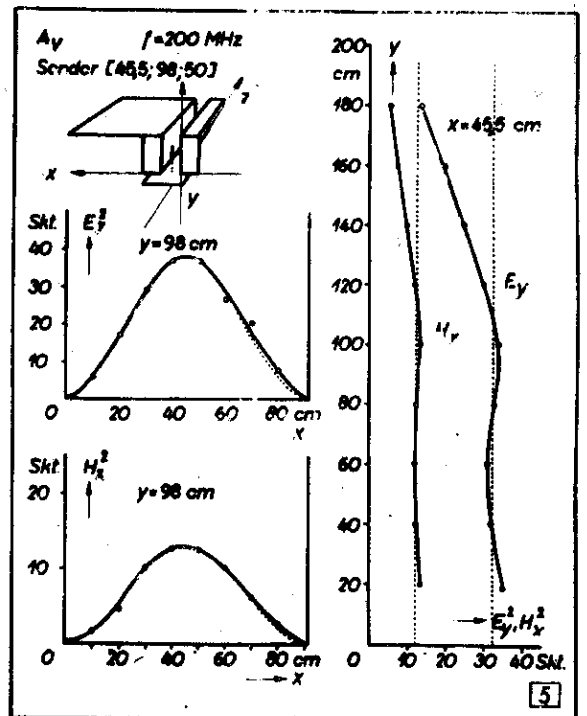
2 zu S. 22



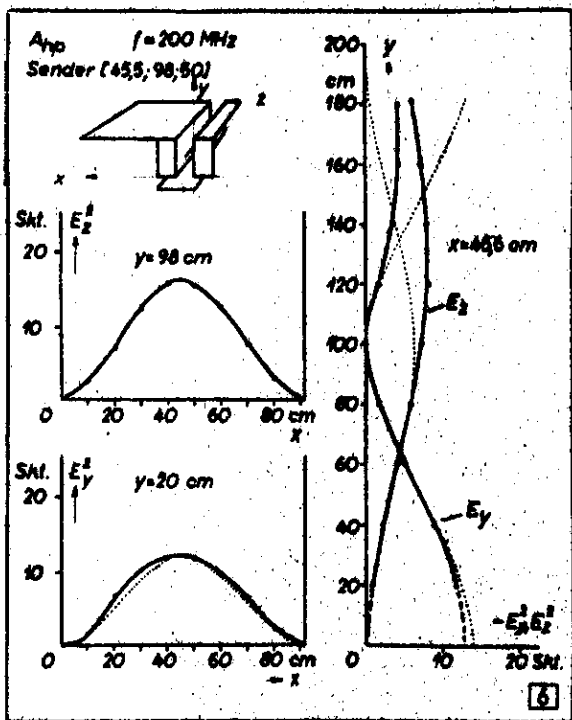
3 zu S. 22



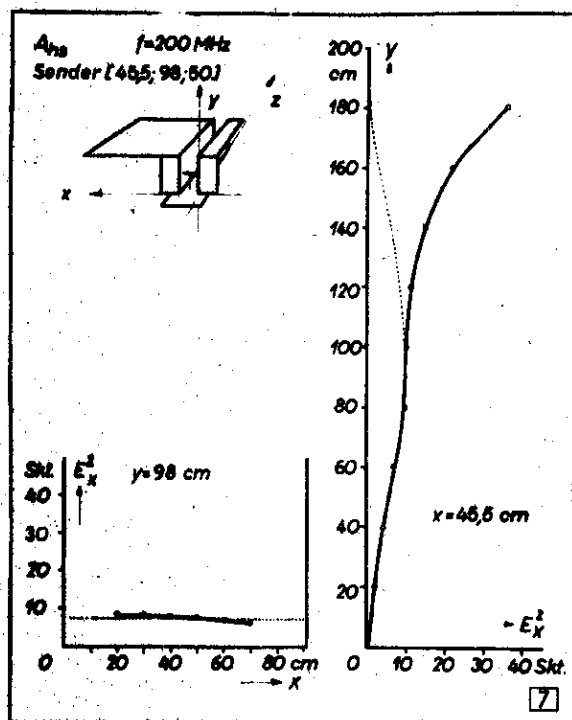
4 zu S. 23



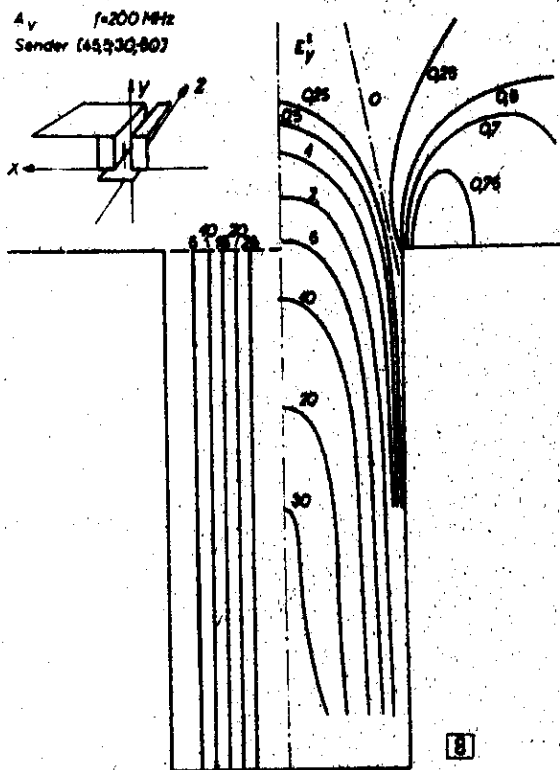
5 zu S. 23



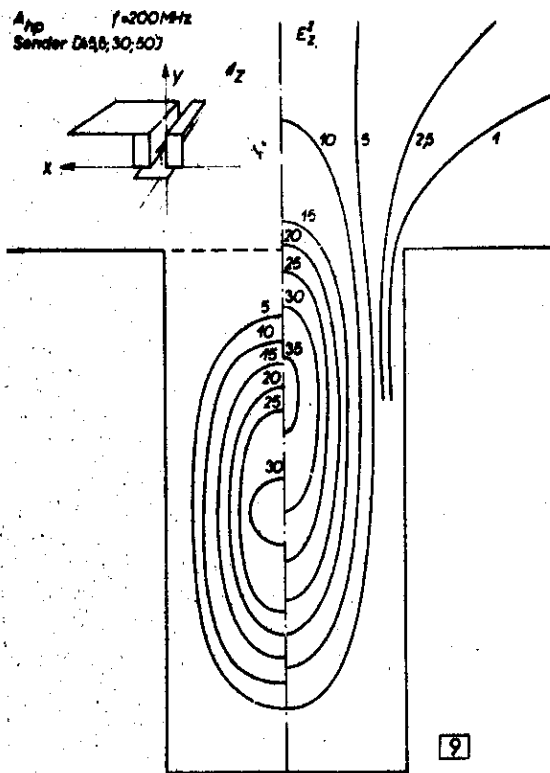
6 zu S. 24



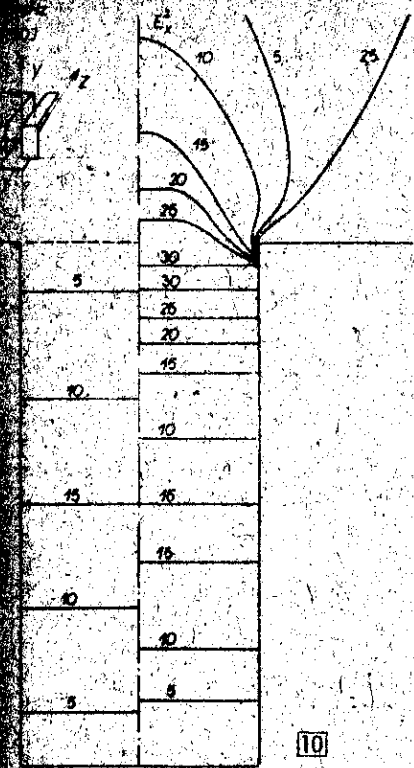
7 zu S. 24



8 zu S. 24



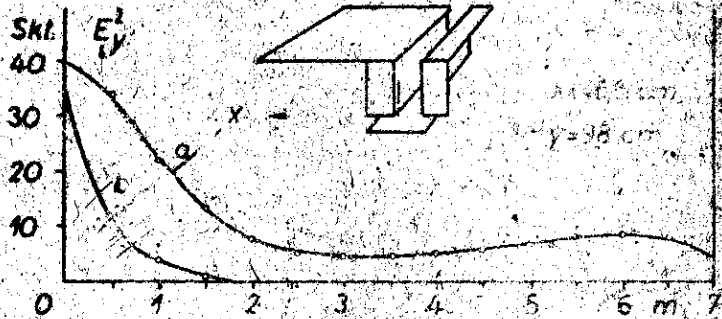
9 zu S. 24



10

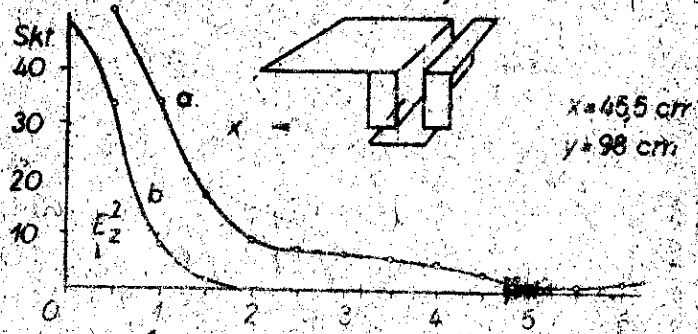
70 in S.24

A_V a. $f = 171 \text{ MHz}$ Sender [465, 106, 166]
 b. $f = 159 \text{ MHz}$

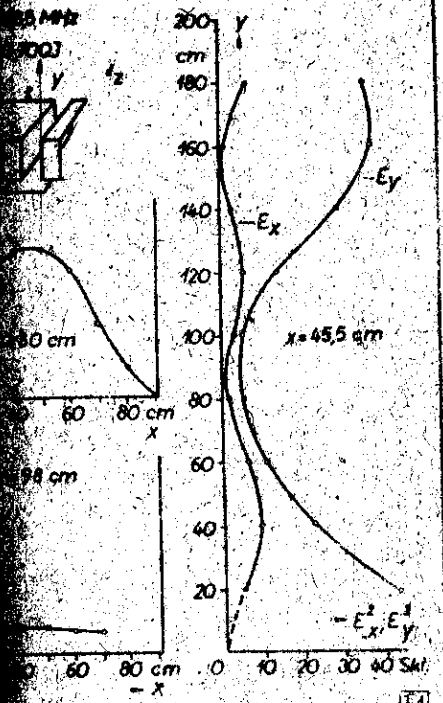


71 in S.24

A_{hp} a. $f = 181 \text{ MHz}$ Sender [455, 104, 166]
 b. $f = 164 \text{ MHz}$



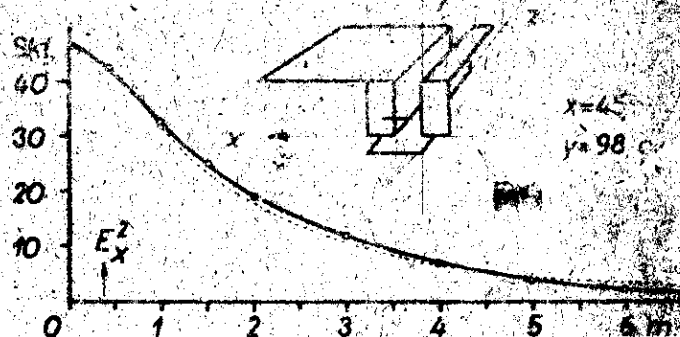
72 in S.24+25



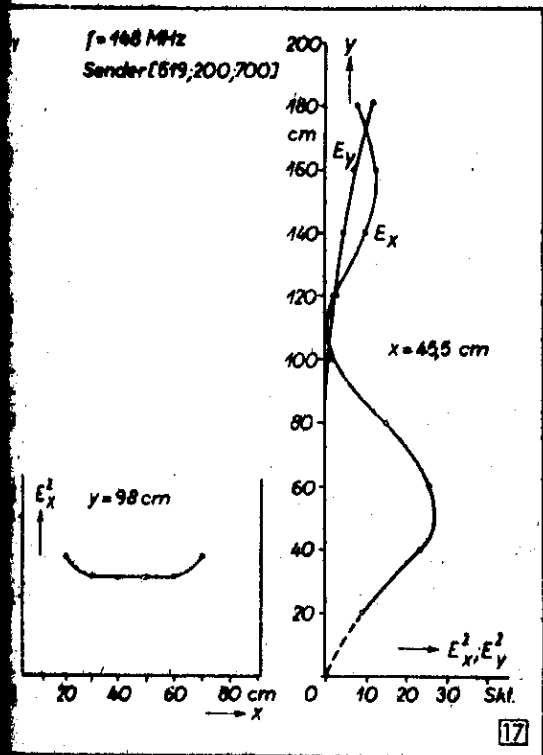
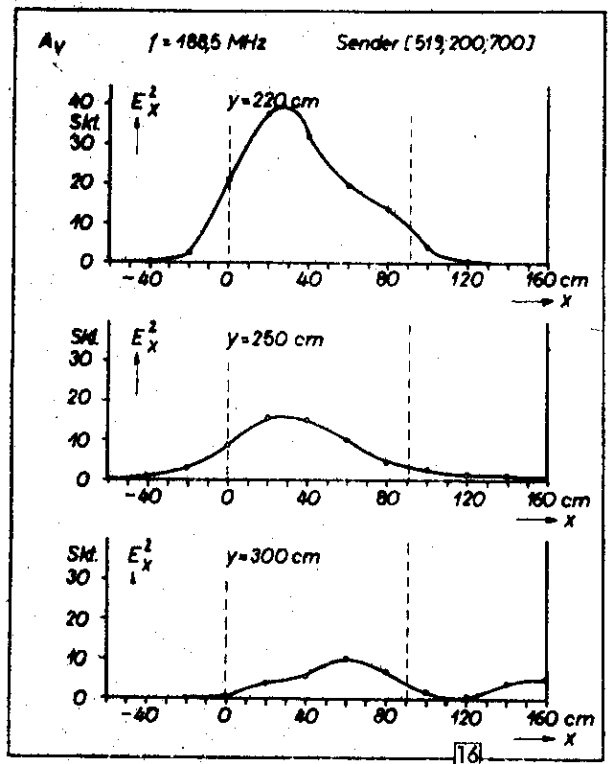
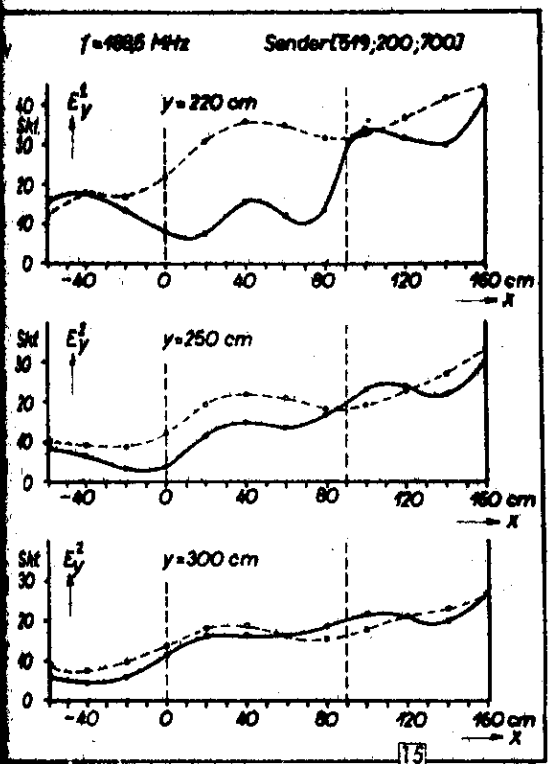
14

74 in S.25

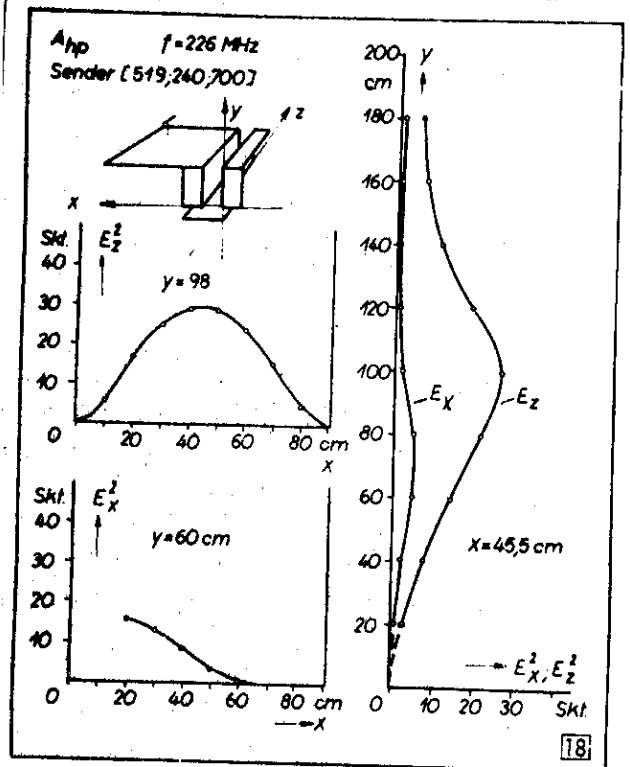
A_{hs} $f = 240 \text{ MHz}$ Sender [455, 104]



13



77 zu S. 26



78 zu S. 26