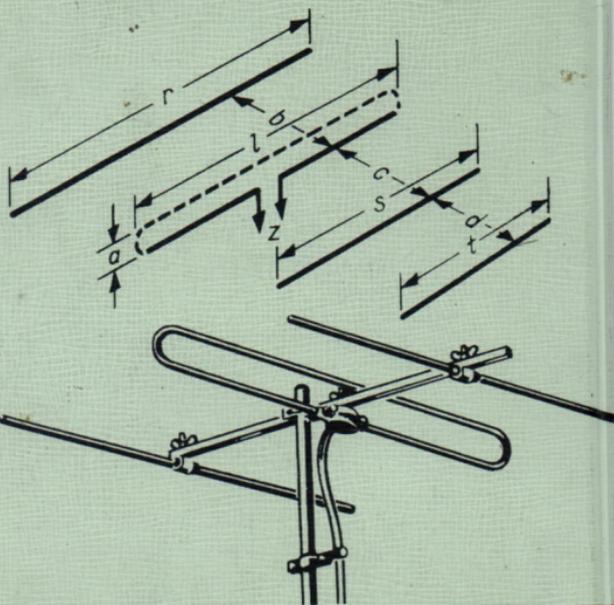
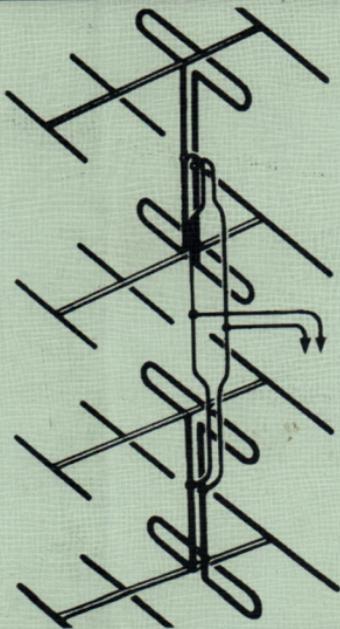


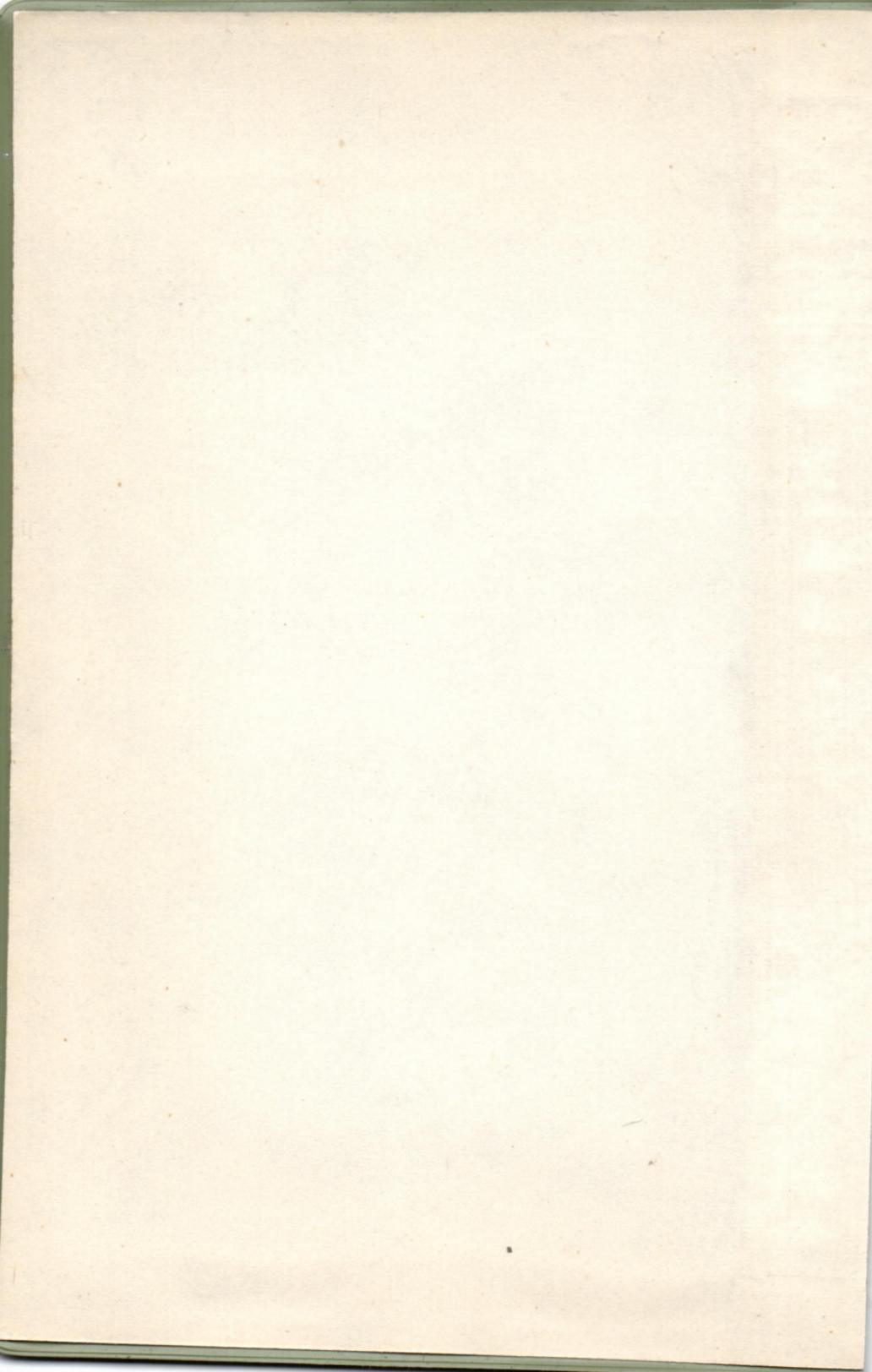
Herbert G. Mende

# Antennenpraxis

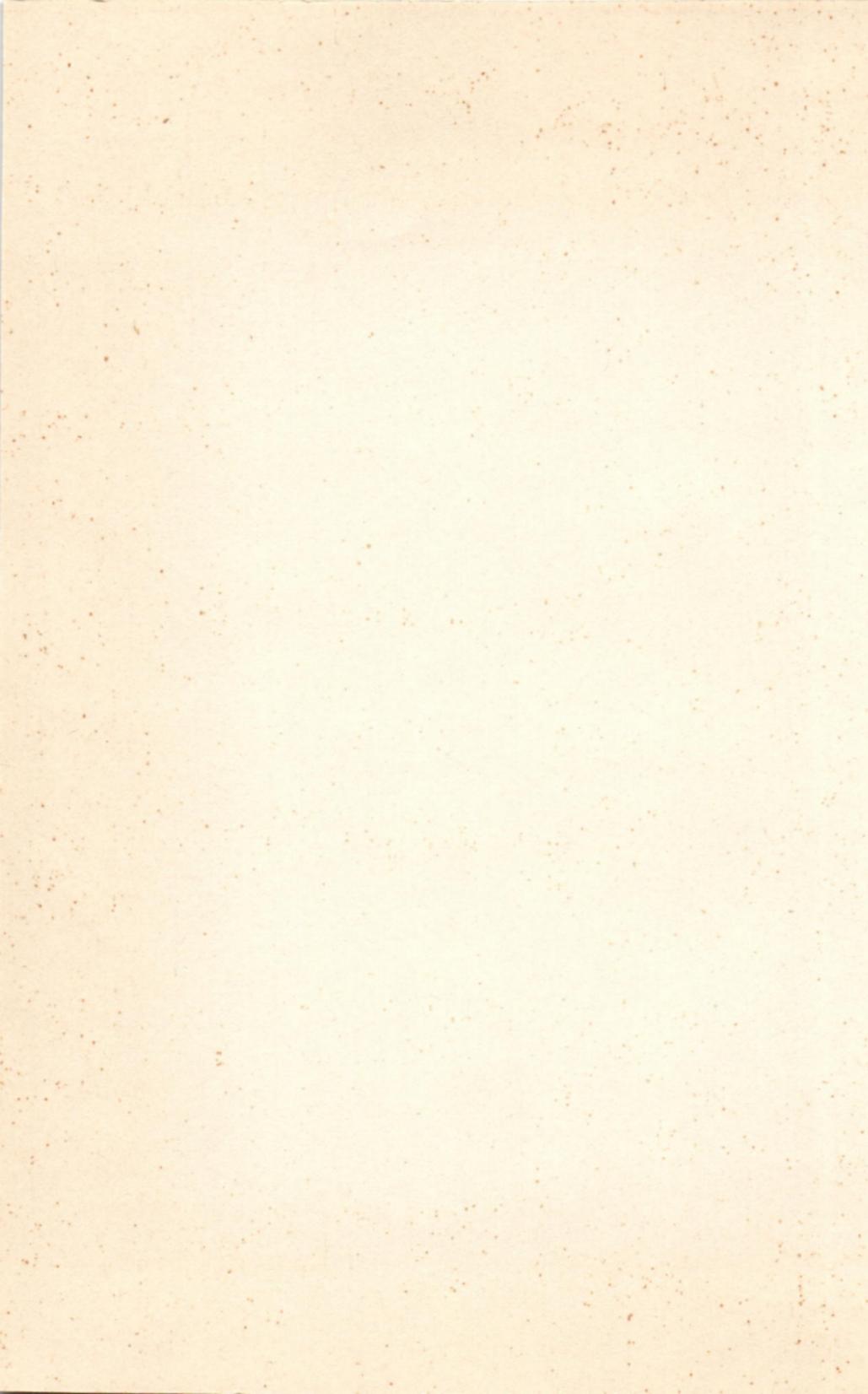
*Taschen-Lehrbuch  
der neuzeitlichen Antennentechnik  
für Rundfunk und Fernsehen*



**Franzis**







# Antennenpraxis

**Taschen-Lehrbuch der neuzeitlichen Antennentechnik  
für Rundfunk und Fernsehen**

Von

**HERBERT G. MENDE**

Beratender Ingenieur

*Mit 121 Bildern und 22 Tabellen*



**FRANZIS - VERLAG MÜNCHEN**

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

### **9. bis 12. Auflage des Gesamtwerkes**

Die vorliegende Gesamtauflage umfaßt die folgenden drei Einzelbände:  
Antennen für Rundfunk- und Fernsehempfang (11. Auflage),  
Praktischer Antennenbau (10. Auflage) und  
Fernsehantennen-Praxis (8. Auflage).

**1965**

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 37, Karlstraße 35  
Printed in Germany

## **Vorwort**

Das vorliegende Buch entstand aus einer überarbeiteten Zusammenfassung der Hefte 6, 84 und 50 der Radio-Praktiker-Bücherei des gleichen Verlages. Damit wurde eine Anregung vieler Leser der RPB verwirklicht, die den Inhalt der drei Bändchen in einem handlichen Taschenbuch vereinigt wissen wollten.

Herrn Ingenieur S. Radike dankt der Verfasser für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, dem Franzis-Verlag für die sorgfältige Herstellung und Ausstattung des Buches.

Bielefeld

Herbert G. Mende



# Inhalt

<b>Grundlagen der Antennentechnik</b> .....	9
<b>1. Über den Sinn der Antenne</b> .....	9
<b>2. Erste Übersicht über die Antennenformen</b> .....	11
<b>3. Theoretische Überlegungen</b> .....	15
a) Strahlungseigenschaften .....	15
b) Schwingkreiseigenschaften und Wirkwiderstand .....	16
c) Strahlungswiderstand .....	17
d) Eigenwelle .....	18
e) Wirksame Antennenhöhe .....	20
f) Dämpfung und Wellenwiderstand .....	20
g) Energiebilanz und Anpassung bei aperiodischen Antennen ..	22
h) Anpassung abgestimmter Antennen .....	25
<b>4. Gebräuchliche Ausführungsformen von Antennen</b> .....	28
a) Richt- und Rundempfangsantennen .....	28
b) Aperiodische Antennen für Lang-, Mittel- und Kurzwellen ..	32
c) Abgestimmte Kurzwellenantennen .....	32
d) UKW- und Fernsehantennen .....	33
e) Dezimeterantennen .....	46
f) Allwellenantennen .....	47
g) Gemeinschaftsantennenanlagen .....	51
h) Kraftwagen- und Bootsantennen .....	52
i) Zimmer- und Behelfsantennen .....	55
k) Gehäuseantennen .....	56
l) Künstliche Antennen .....	56
<b>5. Wahl des Aufstellungsortes</b> .....	58
<b>6. Störeinflüsse und ihre Behebung</b> .....	61
<b>7. Leitungs- und Filtertechnik</b> .....	64
<b>Fernsehantennen</b> .....	69
<b>8. Zur Physik der Fernsehantennen</b> .....	69
a) Besonderheiten der Fernsehantennen .....	69
Laufzeitverzerrungen .....	70
Bandbreite .....	71
Signal/Rausch-Verhältnis .....	72
b) Die Fernsehbereiche .....	72

<b>9. Die Antennenarten</b> .....	75
<b>10. Eigenschaften der Dipol-Fernsehtennen</b> .....	79
a) Die Antennenabmessungen .....	79
b) Der Mindestaufwand für eine Fernsehantenne .....	82
c) Erhöhung des Antennengewinns .....	84
d) Verbesserung der Richtwirkung .....	88
e) Erhöhung der Bandbreite .....	89
f) Einfluß der Elementabstände und -abmessungen .....	91
g) Für die Montage wichtige Eigenschaften .....	92
h) Was man nie vergessen sollte .....	97
<b>11. Wellenwiderstandsanpassung</b> .....	99
a) innerhalb der Antenne .....	99
b) zwischen Antenne und Empfänger .....	107
<b>12. Pegelanpassung</b> .....	113
a) Verstärker .....	113
b) Dämpfungsglieder .....	115
c) Frequenzumsetzer .....	117
<b>13. Ermittlung der richtigen Antennenform</b> .....	118
a) Grundsätzliches .....	118
b) Bandbreite .....	118
c) Vorführ- und Zimmerantennen .....	122
<b>Praktischer Antennenbau</b> .....	127
<b>14. Zur Auswahl der richtigen Antenne und ihres Montageortes</b> ..	127
a) Auswahl nach Empfangsbereich und Empfängerklasse .....	127
b) Örtliche Gegebenheiten .....	130
c) Vorschriften und Rechtsfragen .....	132
d) Die verschiedenen Antennenklassen .....	134
1. Außenantennen .....	134
2. Dachbodenantennen .....	140
3. Innenantennen .....	142
4. Fahrzeugantennen .....	143
<b>15. Zum Selbstbau von Antennen</b> .....	144
a) Allgemeine Materialfragen .....	144
b) Langdrahtantennen .....	147
c) UKW- und Fernsehantennen .....	148
<b>16. Antennenmontage</b> .....	156
a) Außenantennen .....	156

1. Blitzschutz der Antennenstützpunkte .....	158
2. Ausrichten von UKW- und Fernsehantennen .....	159
b) Innenantennen .....	163
c) Autoantennen .....	164
<b>17. Die Antennenzuleitung und ihre Montage .....</b>	<b>165</b>
a) Allgemeines .....	165
b) Antennenzuleitungen für Einzelantennen .....	167
c) Gemeinschaftsanlagen .....	169
d) Gebäudeeinführung .....	172
e) Sonstige Blitzschutzfragen .....	173
f) Autoantennen .....	176
g) Erdleitungen und Gegengewicht .....	176
<b>18. Antennenanpassung .....</b>	<b>178</b>
a) Einzel- und Gemeinschaftsantennen für AM-Empfang .....	178
b) UKW- und Fernsehantennen .....	179
c) Allwellenantennen mit geschirmter Zuleitung .....	183
<b>19. Maßnahmen gegen Laufzeitverzerrungen .....</b>	<b>184</b>
<b>20. Prüfung selbstgebauter Antennen .....</b>	<b>185</b>
<b>Abkürzungen .....</b>	<b>186</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>187</b>
<b>Herstellerverzeichnis .....</b>	<b>189</b>
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>191</b>



# GRUNDLAGEN DER ANTENNENTECHNIK

## 1. Über den Sinn der Antenne

Das Wort *Antenne* bedeutet ursprünglich im Lateinischen soviel wie Rahe oder Segelstange. Die Biologen verwenden es bekanntlich als Fachausdruck für die gegliederten Fühler der Insekten. Beide Bedeutungen haben für die Antenne der Funktechnik durchaus einen gewissen Sinn, so daß man nicht unbedingt auf das Wort „Luftleiter“ zurückgreifen muß, um verständlich zu bleiben. Wir wollen im folgenden – dem internationalen Sprachgebrauch entsprechend – immer nur von der Antenne sprechen.

Der erste berühmte Mann, der eine Art Antenne benutzte – ohne allerdings etwas von ihrer Bedeutung für die spätere Funktechnik zu ahnen –, war *Benjamin Franklin*, als er im Jahre 1752 aus einem an einem Drachen in die Höhe geführten Draht Funken zog und so atmosphärische Elektrizität einfing. Rund 135 Jahre später experimentierte *Heinrich Hertz* mit Dezimeterwellen und benutzte Dipole mit und ohne Reflektor. Aber auch er ahnte noch nichts von Rundfunk und Fernsehen. Erst die spätere, besonders durch *Marconi* geförderte drahtlose Telegrafie benötigte Antennen auf der Sende- und Empfangsseite, die allerdings keinerlei äußere Ähnlichkeit mit dem Hertzschen Dipol hatten, weil man mit kilometerlangen Wellen arbeitete. Im Laufe der Jahrzehnte erschloß man immer kürzere Wellen, deren Längen bereits in die Größenordnung der verwendeten Antennenabmessungen kamen, und erarbeitete parallel dazu die Theorie der Antenne, während man vorher auf Experimente angewiesen war.

Von *Hertz* angefangen aber bis heute und weiter bis in alle Zukunft ist die Antenne das *erste und wichtigste wirklich hochfrequenztechnische Gebilde*, das den Übergang von den drahtgebundenen elektrotechnischen Einrichtungen zur drahtlosen Fernwirkung bzw. zum „Äther“ und zurück vermittelt.

Reichweite und erforderlicher apparativer Aufwand auf der Sende- wie Empfangsseite hängen letztlich nur von der günstigsten Wahl der Antennenart und von deren Eigenschaften ab.

Auf der Sendeseite hat man das von jeher berücksichtigt, auf der Empfangsseite jedoch nur bei der kommerziellen Empfangstechnik, während man sich im Rundfunkgeschäft und beim Hörerpublikum nur wenig Gedanken um die optimale Antennenkonstruktion machte. In den Anfangsjahren des Rundfunks brauchte man – besonders für den Detektorempfang – möglichst lange und hochausgespannte Drahtantennen, die mit zunehmender Empfänger-Empfindlichkeit bis auf kapazitätsbelastete Kurzantennen zusammenschrumpften. Einen neuen Auftrieb erhielt die Antennentechnik bei der Einführung des UKW-Rundfunks, bis auch hier die steigenden Verstärkungsziffern der Empfänger-Eingangsstufen den erforderlichen Antennenaufwand verringerten. Heute liegt das Schwergewicht auf den Fernseh- und Gemeinschaftsantennen, bei denen man auf lange Sicht ohne einen sorgfältig bemessenen Mindestaufwand für die Antennenseite nicht auskommen kann.

## 2. Erste Übersicht über die Antennenformen

Sehen wir uns einen üblichen Schwingungskreis an (**Bild 1**), so wissen wir, daß sich der Schwingungsvorgang innerhalb seiner räumlichen Abmessungen abspielt. Außerhalb des Kreises werden wir nur wenig von der Schwingung wahrnehmen. Der Kondensator hat nur ein sehr kleines Streufeld, und die Verbindungsdrähte zwischen Spule und Kondensator können immer sehr kurz und ihr Abstand voneinander wird meist sehr klein gegen die Betriebswellenlänge sein, so daß sie praktisch nicht strahlen. Lediglich die Spule hat je nach ihrer Konstruktion ein

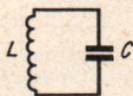


Bild 1.  
Der geschlossene Schwingungskreis



Bild 2. Der geschlossene Schwingungskreis mit großflächiger Spule (Rahmenantenne)



Bild 3. Die Leitung als geöffneter Schwingungskreis

mehr oder weniger ausgeprägtes Streufeld. Dieses ist klein, wenn die Spulenwindungen z. B. in einem Topfkern aus Hf-Eisen untergebracht sind, und groß, wenn es sich um eine Luftspule handelt. Ändert man den Formfaktor (Verhältnis von Länge zu Durchmesser) der Spule dahingehend, daß sich bei gleichbleibender Induktivität eine möglichst große Fläche ergibt, so erhöht sich ihr Streufeld beträchtlich. Damit kann sie bereits in nennenswertem Maße in der Frequenz, auf die der Kreis abgestimmt ist, strahlen oder, was dasselbe ist, erregt werden. Die Spule ist so zur Rahmenantenne geworden (**Bild 2**). Stattet man sie mit einem Kern aus verlustarmem Hf-Eisen aus, so lassen sich ihre Abmessungen wesentlich verkleinern (Ferrit-Antenne).

Eine andere Möglichkeit, die Abstrahlungs- und Aufnahme-fähigkeit des Kreises zu erhöhen, ist die, ihn zu öffnen, indem wir die Kondensatorplatten auseinanderziehen. So erhalten wir einen sogenannten offenen Schwingungskreis. Denken wir uns gleichzeitig die Kondensatorplatten immer mehr in die Länge gestreckt, bis sie schließlich nichts anderes als verlängernde

Drahtstücke der Verbindungsleitungen darstellen, so erhalten wir mit **Bild 3** das typische Schema einer Leitung, bei der allerdings (abweichend von sonst üblichen Darstellungen) die Leitungsinduktivität an einem Ende konzentriert ist, während sich die Leitungskapazitäten über die ganze Leitung verteilen. In unserem Falle ist das jedoch belanglos, weil wir an diesem Beispiel nur erkennen wollen, wieso man eine Antenne auch als Leitung auffassen und nach der Leitungstheorie berechnen kann.

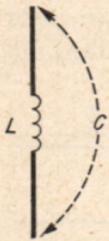


Bild 4

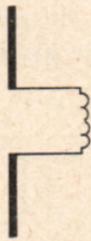


Bild 5

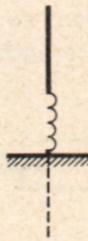


Bild 6

Bild 4. Der offene Schwingungskreis in Antennenform

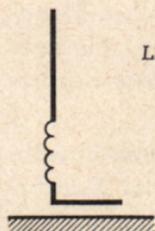
Bild 5. Dipol

Bild 6. Geerdete Vertikalantenne

Öffnen wir jetzt die Leitung weiter, bis sie das Aussehen des **Bildes 4** erhält! Jetzt ähnelt die Anordnung schon sehr einer Antennenspule mit Antenne und Erde. In der Spule des Bildes 4 ist jetzt die Induktivität des geöffneten Kreises mit der des Antennengebildes zusammengefaßt. Die Kreiskapazität verteilt sich auf die Antennendrähte, zwischen denen das elektrische Wechselfeld so weit auseinandergezogen ist, daß es auf größere Entfernungen als beim geschlossenen Kreis wirksam wird.

Das räumliche Absetzen der Kopplungsspule (**Bild 5**) gibt uns dann sofort das Bild des bekannten Hertzschen Dipols. An dieser Stelle unserer Betrachtung müssen wir uns merken, daß sich jede Antennenform auf einen Elementar-Dipol (im physikalischen Sinne) oder (bei den sogenannten aperiodischen Antennen) auf eine Aneinanderreihung vieler solcher Dipole zurückführen läßt. So ergibt sich z. B. die allbekannte Vertikalantenne (selbstschwingender Mast auf der Senderseite, Stabantenne auf der Empfangsseite), wenn der untere Dipolstab durch die als gut leitend gedachte Erde (**Bild 6**) oder durch ein (von Erde isoliertes) Gegengewicht (**Bild 7**) ersetzt wird. Ist der verbleibende

Antennendraht mit Rücksicht auf den zu empfangenden Wellenbereich sehr lang, so pflegt man ihn zu knicken und für den größten Teil seiner Länge mehr oder weniger horizontal aufzuhängen. Das ergibt das Bild der klassischen Hochantenne, deren Hauptformen die L- und T-Antennen bilden, je nachdem, an welcher Stelle der vertikale Teil (die Ableitung) den horizontalen Teil trifft (vgl. Tabelle 1, Seite 34 ff.). In Städten ohne ausreichenden Raum für langgestreckte Drahtantennen behelf man



Links: Bild 7. Antenne mit Gegengewicht gleicher Drahtlänge



Rechts: Bild 8. Schlitzantenne (s. a. Tabelle 4, Seite 44/45)

sich früher angesichts der geringen Empfänger-Empfindlichkeiten mit Stabantennen, deren Spitzen in kapazitätsvergrößernde Gebilde vielerlei Gestalt mündeten.

Doch zurück zum Elementar-Dipol, dem „Vater“ aller Antennen! Die Antennentheorie besagt [1] <sup>1)</sup>, daß jedes Gebilde Strahlungs- und damit Antenneneigenschaften aufweist, bei dem elektrisches und magnetisches Feld aufeinander senkrecht stehen. Das ist aber nicht nur der Fall, wenn sich ein metallischer Leiter in einem Dielektrikum (z. B. Luft) befindet, sondern auch dann, wenn eine metallische Fläche durch ein Dielektrikum, z. B. in Gestalt einer schlitzförmigen Unterbrechung der Metallfläche, aufgeteilt wird. Daraus ergibt sich die für Empfangszwecke verhältnismäßig wenig benutzte Schlitzantenne (**Bild 8**; s. a. Tabellen 3 und 4, Seite 42 bis 45).

Nun kann aber ein Dielektrikum auch ohne umgebende Metallfläche – und zwar recht gut – strahlen bzw. Strahlung aufnehmen. Auf diesem Effekt beruht die Entwicklung der dielektrischen Antennen, die bereits vor mehr als zwanzig Jahren verwendet wurden und mit denen wir auch in Zukunft – wenn nicht alles täuscht – wieder zu tun haben werden.

<sup>1)</sup> Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluß des Buches.

Ähnliche Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den verschiedenen Antennenformen entdeckt man, wenn man die Wendel- oder Spulenantenne als „Mutter“ aller Antennen ansieht (das physikalische Verhalten einer Spule läßt sich leichter übersehen als das einer Antenne). Denn eine plattgedrückte Spule großen Durchmessers ist nichts anderes als eine Rahmenantenne, wenn man sie zweipolig anschließt und auf die Betriebsfrequenz abstimmt. Eine einzelne Windung bildet dann – unabgestimmt – den vor dem Aufkommen der Ferrit-Antennen gebräuchlichen Einwindungsrahmen kleiner Empfänger oder – wenn ihre Eigenresonanz ausgenützt wird – die UKW-Ringantenne. Flachgedrückt bildet sie den Übergang zum Faltdipol und zur Schlitzantenne.

Zieht man jedoch die Windungen der Spulenantenne auseinander, so erhält man eine Langdrahtantenne, die bei Verkürzung auf etwa die Länge einer Wellenlänge zum Ganzwellendipol wird. Es bietet dann keine Schwierigkeit mehr, aus der nichtquasistationären Strom- und Spannungsverteilung des Ganzwellendipols auf die eines Halbwellendipols zu schließen (vgl. Kapitel 10).

Schon aus dieser kurzen Betrachtung erkennen wir, wie eng die äußerlich so verschiedenen Antennen dem Wesen nach zusammenhängen, und warum sich ihre Berechnung immer auf die eines Elementar-Dipols, einer Leitung oder eines Schwingkreises zurückführen läßt, wenn auch die für die praktische Anwendung wichtigen Größen von Fall zu Fall recht verschieden sind. Tatsächlich ergibt sich die Vielfalt der in der Praxis vorkommenden Ausführungen nur aus den verschiedenen Anforderungen (Sendung, Empfang, Wellenbereich oder Eigenfrequenz, Strahlungscharakteristik usw.), die seitens der weitverzweigten Anwendungen der Funktechnik an die Antenne gestellt werden.

### 3. Theoretische Überlegungen

Es ist hier weder die Gelegenheit noch der Platz für eine umfassende Darstellung der Antennen-Theorien. Da die Probleme der Antennenkonstruktion eng mit denen der Strahlung und Wellenausbreitung zusammenhängen und schon bei der einfachsten Antennenform die Lösung partieller Differentialgleichungen im dreidimensionalen Raum erforderlich machen, wollen wir uns auf die wenigen Zusammenhänge beschränken, die auch für den Praktiker interessant sind. Wichtig genug sind derartige Überlegungen jedenfalls, wenn man berücksichtigt, daß das Signal-/Störverhältnis, aber auch das Verhältnis von Signal- zu Rauschleistung bei Kurzwellen- und Ultrakurzwellenanlagen um so besser wird, je besser die Antenne konstruiert und angepaßt ist.

*Wenn im folgenden Formeln und Definitionen gegeben werden, so sind sie immer mit der Einschränkung zu verstehen, daß sie nicht wissenschaftlich exakt sind, sondern lediglich dem Praktiker eine Vorstellung von dem Einfluß der einzelnen Größen vermitteln sollen. Es hat also auch wenig Sinn, beim Arbeiten mit diesen Beziehungen alle Werte auf mehrere Dezimalen zu berechnen. Aus dem gleichen Grunde sind auch die Zahlenangaben der Tabellen nur als Richtwerte aufzufassen.*

#### a) Strahlungseigenschaften

Wenn ein Gebilde als Antenne für elektromagnetische Schwingungen gelten soll, wenn es diese also aufnehmen oder abstrahlen soll, müssen die elektrischen Kraftlinien seines Feldes auf den magnetischen senkrecht stehen [1]. Experimentelle Erfahrungen und exakte Berechnungen zeitigten eine ganze Anzahl solcher Gebilde, die sich nicht nur hinsichtlich ihrer Abmessungen und ihrer elektrischen Eigenschaften unterscheiden, sondern auch dadurch, daß sie für die aufzunehmende oder abzugebende Strahlung in mehr oder weniger hohem Maße gewisse Richtungen bevorzugen.

Der Vorgang der Abstrahlung ist recht kompliziert. Wir können ihn uns am besten (wenn auch nur recht grob) so vorstellen,

daß im Rhythmus der an die Antenne gelieferten Wechselstromenergie ein Feld um den Antennenleiter herum auf- und wieder abgebaut wird, wobei die beim Abbau des Feldes zurückflutenden Kraftlinien wegen der inzwischen veränderten Phasenlage zum Teil nicht wieder in den Leiter eintreten können, sondern in den Raum gedrängt werden (Abstoßen gleichnamiger Ladungen). Nach dieser Vorstellung wird die Abstrahlung im wesentlichen durch die endliche Laufzeit der elektrischen Wellen verursacht. Dabei besteht aus zwei Gründen Gleichheit zwischen Sende- und Empfangsantennen:

1. wegen des Reziprozitätsgesetzes in der Fassung von Carson [6];

2. wegen des Kirchhoffschen Gesetzes von der Gleichheit des Emissions- und Absorptionsvermögens aller Körper [7].

## b) Schwingkreiseigenschaften und Wirkwiderstand

Wie jedes schwingungsfähige elektrische Gebilde weist die Antenne eine (verteilte) Induktivität  $L$ , eine (verteilte) Kapazität  $C$  und einen ohmschen Widerstand auf. Allerdings muß bei Antennen zwischen den statischen und dynamischen (oder wirksamen) Induktivitäten und Kapazitäten unterschieden werden, je nachdem, ob die Stromverteilung längs der Antennenausdehnung gleichmäßig oder ungleichmäßig ist. Der erste Fall (quasistationärer Zustand) ist dann gegeben, wenn die Antennenlänge klein gegen die Betriebswellenlänge ist, also bei üblichen Empfangsantennen im Lang- und Mittelwellenbereich (aperiodische Antennen). Die Antenne kann dann nur durch äußere Mittel (Spulen und Kondensatoren) auf die Betriebsfrequenz abgestimmt werden. Im zweiten Fall (abgestimmte Antennen) gelten die dynamischen Werte ( $L_d$ ,  $C_d$ ), die stets kleiner oder höchstens gleich den statischen Werten ( $L_s$ ,  $C_s$ ) sind. Im Resonanzfall, d. h. wenn die Antenne in ihrer aus ihren mechanischen Abmessungen gegebenen Eigenwelle erregt wird, betragen sie:

$$C_d = \frac{2}{\pi} C_s \quad (1) \quad \text{und} \quad L_d = \frac{2}{\pi} L_s \quad (2)$$

Der gesamte **Wirkwiderstand** einer aperiodischen Antenne ist:

$$R = (R_A + R_E + R_G) + R_S = R_a + R_S \quad (3)$$

- $R_A$  = Verlustwiderstand der Antenne
- $R_E$  = Wirkwiderstand des Empfängereingangs
- $R_G$  = Verlustwiderstand der Erdung
- $R_S$  = Strahlungswiderstand, siehe c)
- $R_a$  = Antennenwiderstand

Im Resonanzfall hat er seinen kleinsten Wert.

Die in ihm enthaltenen Verlustwiderstände wirken natürlich dämpfend und sollten möglichst klein gehalten werden, wozu man im Falle aperiodischer Antennen durch sorgfältige Erdung beitragen kann. Dagegen stellt der

**c) Strahlungswiderstand** einen Nutzwert dar, der bei Sendantennen möglichst groß sein soll. Er ist gewissermaßen der Widerstand, der, im Strombauch der Antenne liegend, die Strahlungsleistung verbraucht und sich für unbeschwerte Antennen und wirksame Antennenhöhen bis  $\lambda/4$  überschlägig aus folgender Beziehung ergibt:

$$R_s = 160 \pi^2 \left( \frac{h_w}{\lambda} \right)^2 \quad [\Omega] \quad (4a)$$

und für Dipole:

$$R_s = 80 \pi^2 \left( \frac{l_w}{\lambda} \right)^2 \quad [\Omega] \quad (4b)$$

$$\left. \begin{array}{l} h_w = \text{wirksame Antennenhöhe} \\ l_w = \text{wirksame Antennenlänge} \end{array} \right\} \text{ in m für Wellenlänge } \lambda \text{ in m}$$

Bei Antennen mit nichtquasistationärer Stromverteilung nimmt auch der Strahlungswiderstand an verschiedenen Stellen der Antenne unterschiedliche Werte an. Man bezieht ihn daher meist auf den Speise- oder Fußpunkt.

Bei L- oder C-beschwerten aperiodischen Antennen oder Antennengrößen über  $\lambda/4$  kann man den Strahlungswiderstand nur ziemlich umständlich nach *van der Pol* [2] berechnen. Man sieht aber aus (4a), daß der Strahlungswiderstand scheinbar um so größer ist, je größer z. B. die Antennenhöhe im Verhältnis zur Wellenlänge ist. Allerdings gilt das nicht unbegrenzt, wie aus

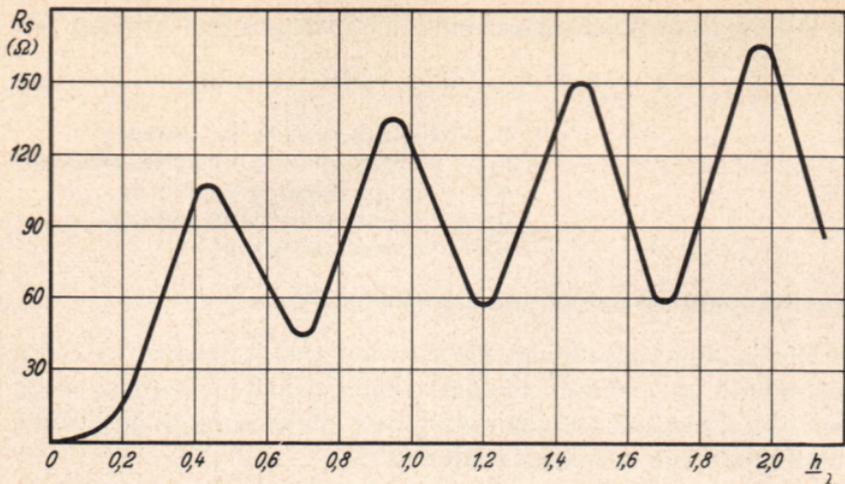


Bild 9. Abhängigkeit des Strahlungs-widerstandes einer geerdeten Stabantenne vom Verhältnis Höhe zu Wellenlänge (nach Siegel)

**Bild 9** hervorgeht, weil die von der Theorie vorausgesetzten idealen Umweltverhältnisse in der Praxis kaum anzutreffen sind.

#### d) Eigenwelle

Die Eigenwelle der unbelasteten Antenne errechnet sich wie bei jedem Schwingungskreis aus:

$$\lambda_0 = 2 \pi \sqrt{L_d \cdot C_d} \quad [\text{m; H; F}] \quad (5)$$

Rechnet man mit den statischen Werten, so ergibt sich überschlägig:

$$\lambda_0 = 2 \dots 4 \sqrt{L_s \cdot C_s} \quad [\text{m; H; F}] \quad (6)$$

Für die Praxis kommt dieser Berechnung keine Bedeutung zu, weil das Ergebnis infolge der Belastung durch den Empfänger und die Nahfeldeinflüsse wesentlich vom tatsächlich meßbaren Wert abweichen kann.

Wird die Antenne in ihrer Eigenwelle erregt, so ergibt sich theoretisch eine sinusförmige Strom- und Spannungsverteilung, wie **Bild 10** für den Dipol (siehe auch Abschnitt 4, c) und **Bild 11** für eine unbeschwerte  $\lambda/4$ -Vertikalantenne zeigen. Bei anderen Antennenformen (z. B. mit Kapazitätsbelastung am Ende) und dann, wenn im Antennenzug Induktivitäten oder Kapazitäten

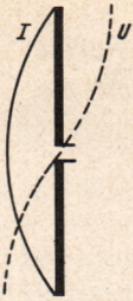


Bild 10. Strom- und Spannungsverteilung bei einem Dipol

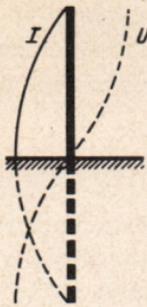


Bild 11. Strom- u. Spannungsverteilung bei einer  $\lambda/4$ -Vertikalantenne

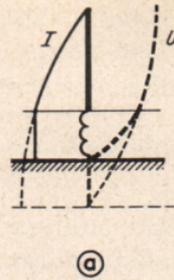


Bild 12a. Elektrisch verlängerte Antenne

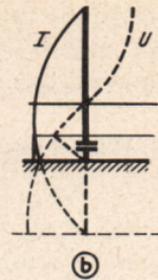


Bild 12b. Elektrisch verkürzte Antenne

liegen, ändert sich natürlich diese Spannungsverteilung, wie z. B. in **Bild 12a** und **b** dargestellt.

Spulen und Kondensatoren ermöglichen bei aperiodischen Antennen eine Anpassung an die zu empfangende oder abzustrahrende Betriebswellenlänge  $\lambda$ . Man spricht von Verlängerung (durch Spulen) oder Verkürzung (durch Kondensatoren). Ein Kondensator wirkt dabei verkürzend auf die Eigenwelle (Bild 12b), während die wirksame Antennenhöhe erhöht wird, weil der Strombauch vom Erdungspunkt weg „nach oben“ verschoben wird. Bei sehr starker Verkürzung erhält man als Grenzfall den spannungsgekoppelten Dipol. Das Einschalten einer Spule (Bild 12a) verlängert dagegen die Eigenwelle und verkürzt dementsprechend die wirksame Antennenhöhe, weil sich das elektromagnetische Feld um so mehr in der Spule konzentriert, je größer ihre Induktivität gegenüber der Antenneninduktivität ist. Zwischen Verlängerung und Verkürzung liegen die unbeschwerte oder die gleichzeitig verlängerte und verkürzte Antenne. Der letztere Fall tritt z. B. ein, wenn die verlängernde Wirkung einer Koppelspule durch einen Kondensator kompensiert wird und dabei die Eigenwelle der Antenne gleich der Betriebswellenlänge gemacht wird.

Bei unendlich dünnen, unbelasteten Halbwellendipolen im freien Raum ist die Eigenwelle genau gleich der doppelten Dipollänge. Wegen der ungleichmäßigen Stromverteilung und wegen

der Kürze und Dicke praktisch verwendeter Dipole muß jedoch die tatsächliche Dipollänge etwas kleiner gewählt werden, um die gewünschte Eigenwelle zu erhalten (vgl. Kapitel 10).

### e) Wirksame Antennenhöhe

Die Spannung, die von der Antenne an den Empfänger geliefert wird, wächst mit der örtlichen Feldstärke und der wirksamen Antennenhöhe. Diese oder auch die wirksame Antennlänge ist nur dann der tatsächlichen Höhe bzw. Länge gleich, wenn die Stromverteilung in der Antenne annähernd gleichmäßig ist, weil die Antenne oberhalb ihrer Eigenwelle betrieben wird (z. B. Stabantennen). Dies ist jedoch nicht immer der Fall, so daß die wirksame Höhe z. T. beträchtlich kleiner sein kann als die tatsächliche. Ein anderer Grund hierfür ist der, daß das Antennenfeld durch Gebäudeteile usw. wie durch das eigene Strahlungsfeld stark gestört wird. Aus der Formel (4) für den Strahlungswiderstand ergibt sich die optimale wirksame Höhe zu:

$$h_w \approx \frac{\lambda \sqrt{R_S}}{40} \quad (7)$$

wenn dafür  $R_a$  (nach (3)) =  $R_S$  gesetzt wird. Während die Berechnung der wirksamen Höhe selbst ziemlich umständlich ist,

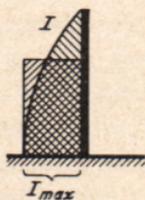


Bild 13.  
Ermittlung der wirksamen  
Antennenhöhe

läßt sie sich bei äquivalenten Sendeantennen nach **Bild 13** aus dem Stromdiagramm ermitteln. Hiernach ergibt sie sich aus der Höhe eines Rechteckes, dessen Grundlinie gleich der Amplitude im Strombauch gemacht wird, und dessen Inhalt der Fläche entspricht, die von der Stromkurve eingeschlossen ist.

### f) Dämpfung und Wellenwiderstand

Theoretisch muß jede abgestimmte Antenne bedämpft sein, damit die Seitenbänder der empfangenen Senderwelle nicht

verzerrt werden. Dies ist natürlich besonders bei frequenzmodulierten Sendern (siehe Abschnitt 4, d) wichtig. Die Dämpfung beträgt beim Dipol:

$$\delta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R}{2Z} \quad (8)$$

bei geerdeten Antennen:  $\delta = \frac{R}{Z}$  (9)

In (8) und (9) bedeutet  $Z$  den sogenannten **Wellenwiderstand**. Er ist eine weitere wichtige Größe, die bei jeder Leitung, aber auch bei jeder abgestimmten Antenne und hier besonders bei höheren Frequenzen eine gewisse Rolle spielt. Der Wellenwiderstand errechnet sich aus:

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (10)$$

und, wenn man  $R$  gegen  $\omega L$  und die Ableitung  $G$  gegen  $\omega C$  vernachlässigen kann, aus:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (11)$$

Gleichzeitig gibt er das Verhältnis von Strom zu Spannung an jedem beliebigen Punkt einer reflexionsfrei abgeschlossenen Leitung oder einer dieser gleichzusetzenden abgestimmten idealen Antenne an. Wie man sieht, ist er unabhängig von Frequenz und Leiterlänge.

Bei waagerechten und senkrechten Drahtantennen ergibt sich der Wellenwiderstand aus:

$$Z = 60 \ln \left( \frac{2 h_w}{r} \right) \quad (12)$$

beim  $\lambda/2$ -Dipol aus:

$$Z = 120 \ln \left( \frac{l_w}{2r} - 0,65 \right) \quad (13)$$

wenn  $r$  der Drahtradius der Antenne in cm und  $\ln$  der natürliche Logarithmus ist. Maßgebend für die praktischen Anwendungen ist jedoch immer der Widerstand, der sich am Speise-

bzw. Ableitungspunkt der Antenne (Fußpunkt- bzw. Eingangswiderstand) ergibt. Die zwischen Antenne und Empfänger liegende Speiseleitung wie auch der Empfängereingang müssen, besonders bei Ultrakurzwellen, mit ihrem Widerstand an diesen Eingangswiderstand, der im Idealfall dem Strahlungswiderstand entspricht, angepaßt werden.

In den klassischen Rundfunkwellenbereichen und bei aperiodischen Antennen ist die Anpassungsfrage mehr eine Sache der Energiebilanz.

### g) Energiebilanz und Anpassung bei aperiodischen Antennen

Die Feldstärke eines Senders am Empfangsort beträgt für eine vertikale Antenne, die kurz gegen  $\lambda/4$  ist, und bei Entfernungen zwischen 30 und 300 km:

$$E = \frac{300 \sqrt{P_{Se}}}{r} \text{ [mV/m]} \quad (14) \quad \begin{array}{l} r = \text{Entfernung des Senders (km)} \\ P_{Se} = \text{Senderleistung (kW)} \end{array}$$

Wie wir auch aus der Einheit Millivolt je Meter erkennen, verursacht die Feldstärke zwischen Antenne und Erde (wie bei einem Dipol) einen Spannungsabfall  $U$ , der um so höher ist, je höher die wirksame Antennenhöhe  $h_w$  ist:

$$U = E \cdot h_w \text{ [V]} \quad (15)$$

Der aus dieser Spannung resultierende Antennenstrom beträgt nun:

$$I = \frac{U}{R_a + R_S} \text{ [A]} \quad (16)$$

worin  $R_S$  der bereits besprochene Strahlungswiderstand der Antenne und  $R_a$  die Zusammenfassung der Verlustwiderstände mit dem Nutzwiderstand ist:  $R_a = R_V + R_N$  (17)

Danach wird von der Antenne eine Wirkleistung

$$P = \frac{U^2}{R_a + R_S} \quad (18)$$

aufgenommen, von der der Anteil

$$P_S = \frac{U^2}{R_S} \quad (19)$$

wieder abgestrahlt wird. Man erkennt hieraus, daß die höchste Antennenspannung bzw. der höchste Antennenstrom dann auftritt, wenn  $R_a = R_S$  ist. In diesem Fall wird genau die Hälfte der aufgenommenen Wirkleistung wieder abgestrahlt, woraus hervorgeht, daß der Wirkungsgrad der Empfangsantenne maximal nur 50 % betragen kann.

Arbeitet man mit nichtabgestimmten Antennen, so ergibt sich aus folgender Überlegung, daß es wenig Sinn hat, die Antenne über ein bestimmtes Maß hinaus zu verlängern: Der Strom, dessen Höchstwert man erzielen will, beträgt:

$$I = \frac{E \cdot l_w}{R_a + R_S} \quad (20), \text{ und für } R_a \rightarrow 0:$$
$$I = \frac{E \cdot l_w}{R_S} = \frac{E \cdot l_w \cdot \lambda^2}{160\pi^2 \cdot l_w^2} = \frac{E \cdot \lambda^2}{160\pi^2 \cdot l_w} \quad (21)$$

Hier steht die wirksame Antennenlänge  $l_w$  unter dem Bruchstrich. Je größer sie wird, desto kleiner wird also der Antennenstrom. Gravierend wird das, wie man ebenfalls aus der Formel ersieht, bei kurzen Wellen und langen Antennen, weil dann schon beträchtliche Abstrahlungen auftreten. Da aber  $R_a$  niemals Null werden kann bzw. soll (denn er enthält ja auch den Nutzwiderstand), mag dieser Gedankengang nur zeigen, daß man nicht allgemein sagen kann: je länger die Antenne, desto besser!

Die günstigste Antennenlänge beträgt ungefähr:

$$l_{\text{opt}} \approx \frac{\lambda \sqrt{R_a}}{56,4} \quad [\text{m}] \quad (22)$$

In der Praxis wählt man die Länge einer L-Antenne zu max.  $1/3 \dots 1/4$  der kürzesten zu empfangenden Wellenlänge, während die Länge einer T-Antenne größer werden kann.

Der nächste Schritt besteht darin, den Empfänger an die Antenne anzuschließen. Das geschieht in der Mehrzahl der praktisch vorkommenden Fälle durch induktive Ankopplung der Antenne an den Eingangskreis gemäß **Bild 14**.

Hier ist  $L_A$  die Antennen-,  $L_K$  die Kreisinduktivität,  $C_A$  die Antennen-,  $C_K$  die gesamte Kreiskapazität,  $R_N$  der Nutzwiderstand des Empfängereingangs und  $R_i$  der Innenwiderstand der hier als Generator aufgefaßten Antenne, der sich aus dem Strahlungswiderstand  $R_S$  und den Verlusten  $R_V$  zusammensetzt. Um

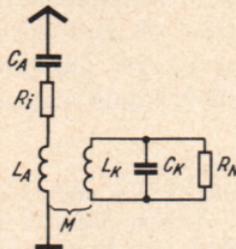


Bild 14.  
Zur Ankopplung aperiodischer  
Antennen an den  
Empfängereingang

im Nutzwiderstand  $R_N$  eine möglichst hohe Leistung zu erzielen, bemißt man die günstigste Kopplung mit der Gegeninduktivität

$$M_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{R_i + R_N}{\omega^2}} \quad [\text{H}] \quad (23)$$

Man sieht hieraus, daß die Formel nur für eine bestimmte Frequenz  $\omega = 2\pi f$  gültig ist. Praktisch bleibt jedoch die so errechnete Kopplung über einen gewissen Frequenzbereich günstig, weil eine Fehlanpassung von 100 % erst einen Leistungsverlust von 11 % bewirkt. Kann man den Verlustwiderstand der Antenne gegenüber ihrem Strahlungswiderstand vernachlässigen (was meistens der Fall ist) und berücksichtigt man, daß der über  $M$  in die Antenne transformierte Nutzwiderstand

$$R_{N'} = \frac{M^2}{L_k^2} \cdot R_N \quad (24)$$

in Serie mit dem Strahlungswiderstand  $R_S$  liegt, so erhält man jetzt für die von der Antenne aufgenommene Leistung

$$P_a = \frac{U^2}{R_S + R_{N'}} \quad (25a)$$

und für die vom Empfänger verbrauchte Nutzleistung

$$P_N = \frac{U^2 \cdot R_{N'}}{(R_S + R_{N'})^2} \quad (25b)$$

Die Differenz zwischen beiden Leistungen  $P_S = P_a - P_N$  wird von der Antenne wieder abgestrahlt. Auch hier erkennt man wieder, daß eine Vergrößerung der Antennenhöhe bzw. -länge nur bis zu dem Punkt nützlich ist, wo  $R_S = R_{N'}$ , d. h. bei Vernachlässigung der Verluste  $= R_a$  wird.

Da nämlich die Antennenspannung proportional mit der Antennenhöhe (Formel 15), der Strahlungswiderstand jedoch mit dem Quadrat der Höhe (Formel 4) anwächst, kann eine Vergrößerung der Antennenhöhe über den genannten Punkt hinaus bei loser Kopplung eine Schwächung der Empfangsenergie statt einer Erhöhung hervorrufen. Praktisch erfolgt die Anpassung aperiodischer Antennen empfängerseitig durch veränderbare Kopplung, Einschalten von angezapften Verlängerungsspulen und von Verkürzungs-Kondensatoren.

## h) Anpassung abgestimmter Antennen

Bei abgestimmten Antennen muß dagegen wegen der nicht-quasistationären Stromverteilung eine zweimalige Anpassung erfolgen: 1. zwischen Antenne und Speiseleitung (Feeder) und 2. zwischen Speiseleitung und Empfängereingang, um in beiden Fällen einen stoßfreien Energieübergang zu gewährleisten.

1. Der Eingangswiderstand, der – wie schon erwähnt – im Idealfall dem Strahlungswiderstand (Formel 4a und b) entspricht, muß an den Wellenwiderstand der benutzten Speiseleitung angepaßt werden oder umgekehrt. Der Wellenwiderstand einer zweidrähtigen Speiseleitung ergibt sich aus:

$$Z = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \left( \frac{d}{r} \right) \quad \text{für: } \frac{d}{r} > 5 \quad (26)$$

$d$  = Drahtabstand (cm)  
 $r$  = Drahtradius (cm)  
 $\varepsilon$  = Dielektrizitätskonstante  
 $\ln$  = natürlicher Logarithmus

während für konzentrische Kabel die Formel:

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \left( \frac{D}{2r} \right) \quad (27)$$

$D$  = Innendurchmesser des Außenleiters  
 $2r$  = Außendurchmesser der Seele

gilt (vgl. auch Kapitel 17 und [3]).

Da die Speiseleitung möglichst nicht strahlen soll bzw. bei Empfangsantennen keine Antennenwirkung haben soll, ist der Strahlungswiderstand dieser Leitung möglichst klein zu halten. Er beträgt bei einer Doppelleitung:

$$R_S \approx 15 \left( \frac{4 \pi r}{\lambda} \right)^2 \quad (28)$$

Die elektrische Länge einer abgestimmten Leitung, wie sie oft als Wellenwiderstands-Transformator in Antennengruppen verwendet wird, hängt außer von dem Wert  $\sqrt{L \cdot C}$  auch von der

Permeabilität der Leiter und der Dielektrizitätskonstante des isolierenden Mediums ab, die beide verkürzend auf die elektrische Länge wirken. Daher wird bei Hf-Kabeln bzw. -Leitungen oft der zugehörige Verkürzungsfaktor angegeben, der meist einen Wert zwischen 0,6 und 0,9 hat.

2. An den Wellenwiderstand der Speiseleitung (Feeder) ist nun wiederum die Empfängereingangsschaltung anzupassen. Im Kurzwellenbereich pflegt man dazu zwischen Feeder und Empfängereingang besondere Abstimmuschaltungen z. B. nach **Bild 15** zu legen, die gleichzeitig gestatten, die Speiseleitung abzustim-

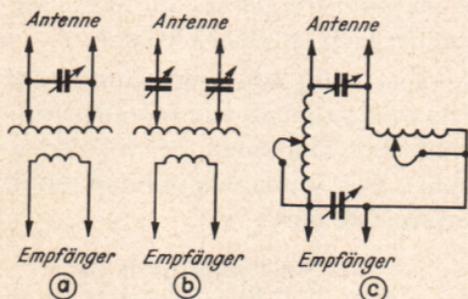


Bild 15.  
Antennenabstimmgeräte

men. Das ist für die beiden praktisch vorkommenden Gebrauchsformen der Leitung (mit fortschreitenden und mit stehenden Wellen) sehr bequem. Während man nämlich normalerweise beliebig lange Speiseleitungen bevorzugt, die durch sorgfältige Anpassung frei von stehenden Wellen gehalten werden, ist es bei kleineren Abständen als  $\lambda/2$  zwischen Antenne und Gerät oft günstiger, einen Feeder mit stehenden Wellen zu benutzen.

In UKW- und Fernsehanlagen kommt es häufig vor, daß der Wellenwiderstand einer gegebenen Speiseleitung nicht zur Antenne oder zum Empfängereingang paßt. Dann nimmt man eine Wellenwiderstandstransformation vor, die sich immer im Prinzip durch einen (Spar-)Übertrager nach der Formel

$$\frac{L_1}{L_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \quad (29)$$

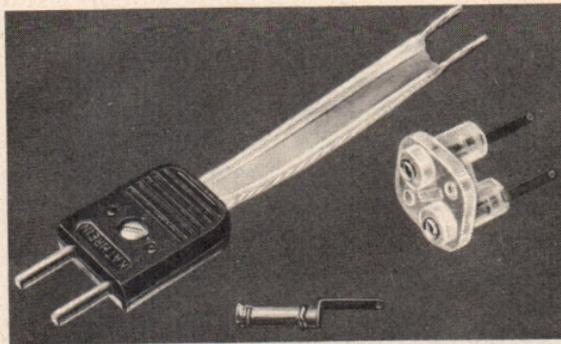
erzielen läßt (vgl. Kapitel 18). Bei UKW- und Dezimeterantennen ergibt sich dabei, daß die Übertragerwicklungen oft nur noch

aus Drahtstücken (vgl. die Y-Antenne in Tabelle 2) bzw. bei Rohrleitungen und Anschlußstücken aus Querschnittsänderungen bestehen. Ein beliebtes Mittel zur Wellenwiderstandstransformation ist ein meist  $\lambda/4$  langes Stück Leitung oder Kabel, dessen Wellenwiderstand gleich der Wurzel aus dem Produkt der beiden aneinander anzulegenden Wellenwiderstände ist:

$$Z_L = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \quad (30)$$

Natürlich ist hierbei die Anpassung nur für einen sehr engen Frequenzbereich hinreichend genau.

Bild 16. 240-Ohm-  
Steckverbindung  
für UKW-Band-  
leitungen von  
Kathrein  
(Zukünftige Norm:  
DIN 45 317)



Aus dem oben Gesagten ergibt sich andererseits, daß man sehr überlegt bei der Herstellung von Verbindungen zwischen Antenne, Leitung und Empfänger vorgehen muß, damit die Stoßstellen nicht eine unerwünschte Transformation des Wellenwiderstandes hervorrufen und auf die übertragenen Wellen reflektierend wirken. Für UKW- und Fernsehempfang sind reflexionsfreie Steckverbindungen (**Bild 16**) sowie genormte Bandleitungen und koaxiale Kabel im Handel. Die zum Anschluß von LMK- und UKW-Antennen früher üblichen Bananenstecker und Buchsen wurden durch genormte Steckverbindungen (DIN 45 315 und 45 316) ersetzt.

Die bei abgeschirmten Antennenanlagen verwendeten Anpassungsübertrager werden im Abschnitt 6 besprochen, da sie nicht infolge von Antennen- oder Empfängereigenschaften erforderlich werden.

## 4. Gebräuchliche Ausführungsformen von Antennen

### a) Richt- und Rundempfangsantennen

Bringt schon eine abgestimmte Antenne gegenüber einer aperiodischen einen gewissen Spannungsgewinn, so kann dieser Gewinn durch Ausnutzung der Richtwirkung noch erheblich vergrößert werden, wenn man sich auf den Empfang bevorzugter Sender beschränkt.

Bekanntlich gibt es Antennen, die für bestimmte Richtungen im Raum besonders empfindlich sind und die z. B. birnen- oder keulenförmige Richtcharakteristiken aufweisen. Viele Antennenformen bevorzugen zudem Wellen einer ganz bestimmten Schwingungsrichtung; sie sind für die elektrische Schwingungskomponente „polarisiert“. Diese Polarisation spielt besonders bei Dipolen für höhere Frequenzen eine entscheidende Rolle. Im Meterwellenbereich für UKW-Hörrundfunk und Fernsehen bevorzugt man eine horizontale Polarisation und richtet die Antennen dementsprechend aus. In besonderen Fällen verwendet man bei hohen Frequenzen auch Wendel- oder Spulenantennen. Sie wirken als Richtstrahler mit nahezu zirkularer Polarisation, wenn der Umfang einer Spulenwindung in der Größenordnung der Wellenlänge liegt [10].

Die klassische Richtantenne, deren Wirkungsweise auch heute noch für Peilzwecke ausgenutzt wird, ist die bekannte *Rahmenantenne*. Sie hatte in der Pionierzeit der Funktechnik oft gewaltige Abmessungen und wird heute nur noch in der kommerziellen Technik für Peilzwecke verwendet, während sie im Empfängerbau durch die Ferrit-Antenne verdrängt wurde.

Als Geräteantennen für den AM-Empfang mit Taschenempfängern und zur Verbesserung der Trennschärfe moderner Heimempfänger wählt man heute eisengefüllte Rahmenantennen, die sogenannten *Ferrit-Antennen* (**Bild 17**). Bei sorgfältiger Ausrichtung ermöglichen sie in vielen Fällen den störungsarmen Empfang eines Mittelwellensenders, der sonst von einem aus anderer Richtung einfallenden Störsender gleicher oder eng benachbarter Frequenz überlagert wird.

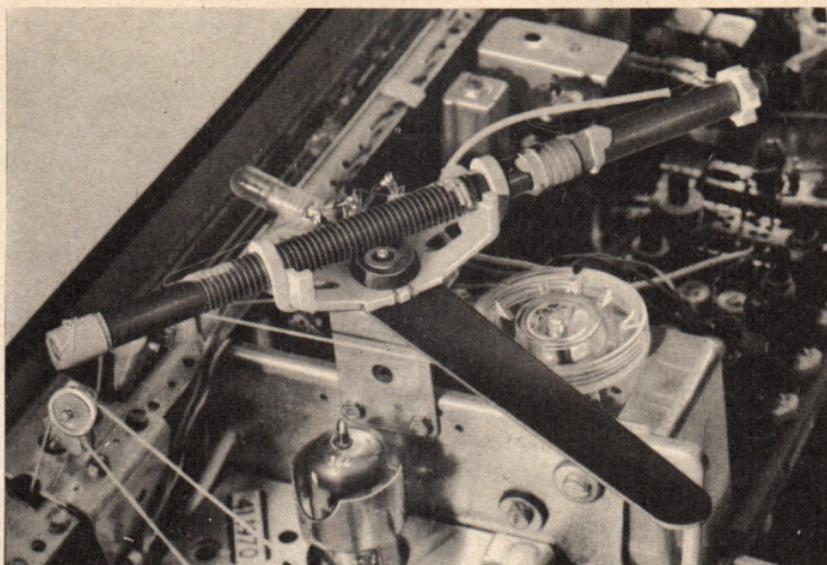


Bild 17. Beispiel einer Ferrit-Antenne, die drehbar auf dem Chassis eines Telefunken-Superhets gelagert ist. Diese Ferrit-Antenne wird durch den nach rechts vorn gerichteten Hebel verstellt

Die nur nach Zentimetern zählende wirksame Höhe der Rahmenantennen wird zu einem guten Teil durch die Resonanzüberhöhung infolge ihrer hohen Güterwerte aufgewogen. Trotzdem stattet man Rahmen- und Ferrit-Antennen oft mit einer eigenen Verstärkerstufe aus, um ihre Empfindlichkeit derjenigen mittlerer Außenantennen anzugleichen.

Bei den sogenannten *elektronischen Antennen* werden mit Transistoren oder Nuvistoren bestückte und über die Antennenleitung ferngespeiste Verstärker unmittelbar in die Anschlußkästen von Richtantennen eingebaut, um durch Verstärkung noch vor dem dämpfenden Leitungsabschnitt den Rauschabstand (Nutz- zu Rauschspannung) trotz kleiner Feldstärken zu verbessern.

Auch die einfache L-Antenne bevorzugt Sender, die in der Richtung ihrer Drahtachse liegen, und zeigt somit eine gewisse Richtwirkung. Ähnliches gilt auch für andere Antennenformen, deren Richtwirkung in den Bildern der Tabellen 1 bis 4 (Seite 34 und folgende) durch Pfeile angedeutet wurde.

Bei Dipolen ist schon aus physikalischen Gründen eine Richtungsabhängigkeit vorhanden, die sich als achtförmige Strahlungscharakteristik senkrecht zur Dipolachse äußert. Durch Anordnung eines Reflektors ist es möglich, den Empfang von der einen Seite noch zu unterbinden und die so erreichte einseitige Richtwirkung durch Anwendung weiterer parasitärer Elemente noch zu verstärken (**Bild 18**).

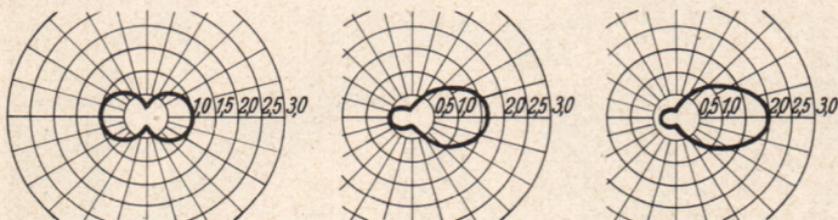


Bild 18. Horizontale Richtcharakteristik eines Dipols ohne und mit parasitären Elementen. Links: Dipol allein; Mitte: Dipol mit Reflektor; Rechts: Dipol mit Reflektor und zwei Direktoren

Dabei werden bei längeren Ultrakurzwellen ein bis drei Reflektorstäbe, bei kürzeren auch Reflektorwände, Parabol- und Schirmreflektoren verwendet. Einen UKW-Faltdipol mit Reflektor zeigt **Bild 19**.

Die Anordnung von Empfangs- und Reflektordipolen in Reihen über- und nebeneinander zu sogenannten Dipolzeilen, -ebenen und -gruppen [7] trägt ebenfalls zur Erhöhung der Richtwirkung durch schärfere Bündelung bei. Es würde zu weit führen, sämtliche bekannten Lösungen, angefangen von der *Telefunken-Tannenbaum-Antenne* bis zu den modernsten Dezimeter-Systemen, auch nur dem Prinzip nach zu besprechen; sie kommen wegen ihrer hohen Kosten praktisch auch nur für kommerzielle Anlagen in Betracht und werden auch für Fernsehempfang nur in Ausnahmefällen benötigt.

Zur Erhöhung des Spannungsgewinns kann man bei Empfangsdipolen die Zahl der parasitären Elemente (Reflektor und Direktoren) vergrößern und erhält dann z. B. einen sogenannten Yagi (**Bild 20**). Dabei wird meist auch das Vor-/Rückverhältnis verbessert, das die Empfindlichkeit der Hauptempfangsrichtung mit der der entgegengesetzten Richtung vergleicht (wichtig bei



Bild 19.  
UKW-Faltdipol mit Reflektor  
(Kathrein)

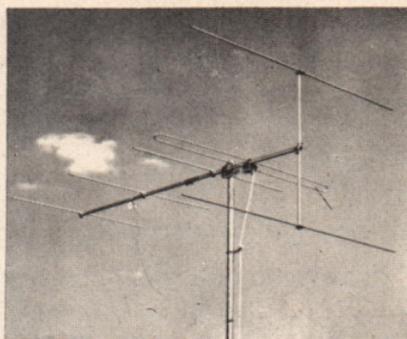


Bild 20. Yagi-Antenne  
für UKW-Stereo-  
Empfang (Hirschmann)

der Ausblendung von hinten einfallender Störstrahlung). Die Größe des Abstandes, aber auch die Zahl und Länge der parasitären Elemente, hat großen Einfluß auf die Bündelung, den Gewinn, die Breitbandeigenschaften und besonders auf den Fußpunktwiderstand der Antenne. Wie man in der Praxis durch geeignete Abmessungen der Antennenelemente einen Kompromiß zwischen den einander widersprechenden Forderungen findet, ist in Kapitel 10 ausgeführt. Die physikalische Wirkungsweise der Reflektoren und Direktoren beruht auf der Strahlungskopplung [5].

Der umgekehrte Fall, nämlich die Forderung nach der Rundcharakteristik einer abgestimmten Antenne, hat beim UKW-Hörrundfunk große Bedeutung erlangt. Hier ermöglichen die in den vergangenen Jahren wesentlich erhöhte Empfindlichkeit der Empfänger und das weiter ausgebaute UKW-FM-Sendernetz in vielen Gegenden den Empfang mehrerer Sender, so daß Richtantennen nur noch in schlecht versorgten Gebieten und zur Ausblendung von Laufzeitverzerrungen und Störstrahlern benötigt werden.

Das Ausblenden von Störsendern und reflektierten Wellenzügen eines UKW-Senders ist ferner für den Hf-Stereo-Empfang wichtig, für den man im übrigen eine bis zu 50 % höhere Antennenspannung als beim UKW-Mono-Empfang anstrebt. Damit kommt man dann wieder zu Richtantennen im UKW-Bereich (siehe **Bild 20**).

Für AM-Empfänger bevorzugt man dagegen Rundempfang mit der heute üblichen Stabantenne von 2...4 m Länge, wenn die geräteeigene Ferrit-Antenne oder sonstige Behelfsantennen nicht ausreichen oder wenn im Hause ohnehin eine Gemeinschaftsanlage errichtet wird.

## **b) Aperiodische Antennen für Lang-, Mittel- und Kurzwellen**

Für die klassischen Wellenbereiche werden Stab- oder (seltener) zwischen Stützpunkten aufgehängte Einzeldrahtantennen in Verbindung mit einer Erdleitung verwendet. **Tabelle 1** zeigt einige Standardantennen aus der Fülle der bekanntgewordenen Ausführungsformen. Die Abmessungen dieser Antennen sind im allgemeinen wenig kritisch, solange sie klein gegen die Wellenlänge sind. Man bemüht sich jedoch stets, eine Form zu finden, die sich den örtlichen Verhältnissen anpaßt und die den gegebenen Empfänger gut auszunutzen gestattet.

Wichtig ist nur, daß man sie gemäß den in Abschnitt 3 angeführten Beziehungen möglichst hoch über der Erdoberfläche und allen mit ihr zusammenhängenden Gebilden (Häuser, Bäume usw.) anbringt.

## **c) Abgestimmte Kurzwellenantennen**

Diese bei den Amateuren auch für Sendezwecke beliebte Antennenklasse ist in der Praxis durch eine große Vielzahl von Ausführungsformen vertreten, von denen **Tabelle 2** die wichtigsten Varianten zeigt. Man kann hier unterscheiden zwischen solchen Antennen, die sich bei geschickter Wahl der Abmessungen durch Ausnutzung von Oberschwingungen für mehrere Frequenzbänder eignen, und solchen, die vorzugsweise für eine einzelne Empfangsfrequenz bzw. (wegen ihrer Dämpfung) für ein einzelnes Frequenzband bestimmt sind (vgl. RPB 44). Wesentlich an einem Halbwellen-Dipol, der in seiner Eigenwelle erregt wird, ist die quasistationäre Stromverteilung. Das heißt, in einem gegebenen Augenblick ist der Antennenstrom längs des Dipols nicht überall gleich groß, sondern er zeigt gemäß Bild 10 in der Dipolmitte ein Maximum, den sogenannten Strombauch. An der gleichen Stelle befindet sich dafür ein Spannungsknoten, also ein

Minimum der Spannung, die an den Dipolenden ihren größten Wert erreicht. Daraus ergibt sich das Bild einer stehenden Halbwelle. Mit dieser Strom- und Spannungsverteilung hängt zusammen, daß die ausnutzbaren Oberwellen eines  $\frac{\lambda}{2}$ -Dipols stets  $3/2$ ,  $5/2$ ,  $7/2$  usw. der Grundwelle lang sind.

#### d) UKW- und Fernsehantennen (Tabelle 3)

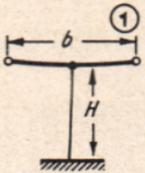
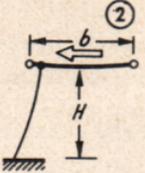
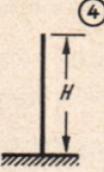
Die Einführung des UKW-FM-Rundfunks hat eine ganze Reihe neuer Antennenformen ins Leben gerufen, die sich nun mit geänderten Abmessungen beim Fernsehempfang bewähren. Neben den einfachen Dipolen spielen hier die Breitbandantennen eine große Rolle. Ihre aktiven Dipole werden, wie aus den Tabellen 9 und 19 bis 21 hervorgeht, meist 5...8 % kürzer gehalten, als theoretisch zu erwarten wäre, u. a. weil der Einfluß der Dipoldicke (Endkapazitäten!) eine Korrektur in diesem Sinne erfordert. Bei Antennen geringer Elementezahl ist die Dipollänge jedoch nicht sehr kritisch, weil man in der Praxis doch nicht die von der Theorie vorausgesetzten idealen Verhältnisse verwirklichen kann.

Aus Gründen der Anpassung wie überhaupt der Energiebilanz ist es nun nicht ratsam, Dipole durch (ohmsche) Bedämpfung zur Aufnahme breiter Frequenzbänder zu präparieren. Vielmehr pflegt man die Antennen so zu konstruieren, daß sich schon auf Grund ihrer elektrischen Eigenschaften eine größere Bandbreite ergibt. Derartige Breitbandantennen sind meist durch eine gewisse Ausdehnung senkrecht zur Dipolachse gekennzeichnet. Man baut die Dipole zu Rechtecken, Dreiecken, Rhomben, Ellipsen, Kreisen usw. aus, immer mit dem Erfolg, daß die Induktivität der Antenne verringert und ihre Kapazität vergrößert wird, während der Strahlungswiderstand im Gegensatz zum Fußpunkt- und Wellenwiderstand kaum beeinflußt wird. Dadurch erhält die Antenne ein kleineres L/C-Verhältnis und dementsprechend eine breitere Resonanzkurve.

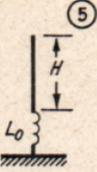
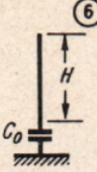
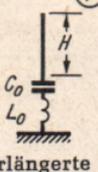
Die zur Erhöhung der Richtwirkung bzw. des Spannungsgewinns bei diesen Antennen benutzten parasitären Elemente haben zur Folge, daß der Fußpunkt- bzw. Anpassungswiderstand nur noch für einen kleinen Frequenzbereich dem Sollwert

*Fortsetzung des Textes siehe Seite 46*

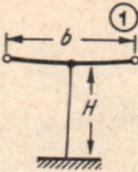
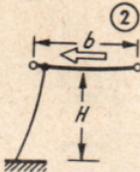
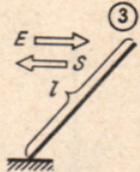
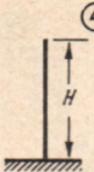
Tabelle 1: Aperiodische Antennen

Form	 <p style="text-align: center;">T-Antenne</p>	 <p style="text-align: center;">L-Antenne</p>	 <p style="text-align: center;">Geneigte Eindraht- Antenne</p>	 <p style="text-align: center;">Vertikal- Antenne</p>
<p>Übliche Abmessungen</p>	$\frac{b}{2} + H = 0,95 \frac{\lambda}{2}$ <p>z. B. b = 15...25 m H = max.</p>	$b + H = 0,95 \frac{\lambda}{2}$ <p>z. B.: b = 11...15 m H = max.</p>	<p><math>l = 15...25 \text{ m}</math></p>	<p><math>H = 3...6 \text{ m}</math> oder <math>H \approx \lambda/4</math></p>
<p>(Statische) Kapazität</p>	$C_s = \frac{b}{2 \ln \frac{2H}{r}}$ <p><math>b &lt; \lambda</math> Ableitung: <math>C_{ab} = 0,55 \frac{H}{h_w \left( \frac{H}{r} \sqrt{3} \right)}</math></p>	<p>alles [cm] (ohne Ableitung!)</p>	<p>wie L- u. T-Ant., wenn <math>l = b</math> und mittl. Höhe = H</p>	$C_s = \frac{H}{2 \ln \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{H}{d}}$ <p>(cm)</p>
<p>(Statische) Induktivität</p>	$L_s = 2b \cdot \ln \frac{2H}{r}$ <p>alles [cm] (ohne Ableitung!)</p>	<p>wie L- u. T-Ant., wenn <math>l = b</math> und mittl. Höhe = H sonst: <math>L_s = 2l h_w \left( \frac{2H}{r} \right)</math></p>	<p>wie L- u. T-Ant., wenn <math>l = b</math> und mittl. Höhe = H sonst: <math>L_s = 2l h_w \left( \frac{2H}{r} \right)</math></p>	$L_s = 2H \ln \frac{H}{\sqrt{\frac{3d}{2}}}$ <p>(cm)</p>
<p>Wirksame Höhe</p>	<p><math>h_w \approx H</math> (für <math>H &lt; \lambda</math>)</p>	<p><math>h_w \approx H</math> (für <math>H &lt; \lambda</math>) z. B.: 1...2,5 m</p>	<p><math>h_w \approx</math> mittl. Höhe (für <math>H &lt; \lambda</math>)</p>	$h_w = \frac{2}{\pi} H$
<p>Wirksame Länge</p>	$l_w = \frac{b}{2} + H$	$l_w = b + H$	<p><math>l_w \approx l</math> (für <math>l &lt; \lambda</math>) sonst: <math>l_w = \frac{1}{2} \dots \frac{2}{\pi} \cdot l</math></p>	<p style="text-align: center;">-</p>

für Lang-, Mittel- und Kurzwellen

 <p>Verlängerte Vertikal-Antenne</p>	 <p>Verkürzte Vertikal-Antenne</p>	 <p>Verlängerte u. verkürzte Vertikal-Antenne</p>	 <p>Ferrit-Antenne</p>	 <p>Rahmen-Antenne</p>
<p><math>H = 3 \dots 6 \text{ m}</math></p>	<p><math>H = 3 \dots 6 \text{ m}</math></p>	<p><math>H = 3 \dots 6 \text{ m}</math></p>	<p><math>8 \phi \times 180 \text{ mm}^3</math> (<math>\mu = 300</math>)</p>	<p><math>a, b = 0,3 \dots 1 \text{ m}</math></p>
<p>wie ④</p>	<p>wie ④</p>	<p>wie ④</p>	<p>z. B. 2 pF, dazu die Kreis-kapazität</p>	<p>nur meßbar</p>
<p>wie ④</p>	<p>wie ④</p>	<p>wie ④</p>	<p>je nach Betriebs-frequenz</p>	<p><math>L_s \approx 1,25 \frac{l^2}{\sqrt{O}}</math> <math>L_s</math> in [cm] <math>l</math> = Draht-länge [cm] <math>O = *</math>)</p>
<p><math>h_w \approx \frac{H}{2}</math> oder nach ⑥ und ⑦</p>	$h_w = \lambda \frac{\sin 360 \frac{H + l_0}{\lambda} - \sin 360 \frac{l_0}{\lambda}}{2 \pi \cos 360 \cdot \frac{l_0}{\lambda}}$ $l_0 = \frac{\lambda - \lambda_0}{4}$		<p>mehrere Millimeter!</p>	<p><math>h_w = \frac{2 \pi F \cdot n}{\lambda}</math> <math>h_w</math> und <math>\lambda</math> in [cm] <math>F = a \cdot b</math> [cm<sup>2</sup>] <math>n</math> = Windungs-zahl für <math>\sqrt{F} &lt; \lambda</math></p>
<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p><math>l_w = \frac{2 \pi F n}{\lambda} \cdot \sin \gamma</math> <math>\gamma</math> = Feldeinfallswinkel</p>	

\*] Siehe Fortsetzung dieser Tabelle nächste Seite!

Form	 <p>T-Antenne</p>	 <p>L-Antenne</p>	 <p>Geneigte Eindraht-Antenne</p>	 <p>Vertikal-Antenne</p>
Eigenwelle	$\lambda_0 = 4,5 \dots 7 l_w$ für $b \leq H$ $\lambda_0 = 9 \dots 10 l_w$ *)	$\lambda_0 = 4 \dots 5,5 \cdot l_w$ für $H = 1 \text{ m}$ : $\lambda_0 \approx 5 b$	$\lambda_0 = 4,2 l$	$\lambda_0 = 4,1 \cdot H$
Strahlungswiderstand	$R_s \approx 160 \pi^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2$ (für $H < \lambda$ )	$R_s \approx 160 \pi^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2$ (für $H < \lambda$ )	$R_s \approx 160 \pi^2 \left(\frac{hw}{\lambda}\right)^2$ z. B. $132 \Omega$ für $l = 4 \lambda$	$\approx 40 \Omega$ für $\frac{\lambda}{4}$ -Antennen $R_s = 36,6 \Omega$ für $\frac{h_w}{\lambda} = \frac{1}{4}$ $R_s = 98 \Omega$ für $\frac{h_w}{\lambda} = \frac{1}{2}$
Wellenwiderstand	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2H}{r}$ Fußpunktwiderstand: bis zu einigen $k\Omega$ !		$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = 60 \ln \frac{2 h_w}{r}$
Erhöhung der Richtwirkung durch:	$\frac{\text{Horizontalteil}}{\text{Vertikalteil}}$ vergrößern; Abschluß mit Z		Bei Resonanz Richtwirkung vorhanden	-
Bemerkungen	$\ln = \text{nat. Log.}$ $r = \text{Radius des Antennen-drahtes}$ *) $b = 2 \dots 3 H$	$\ln = \text{nat. Log.}$ $r = \text{Radius des Antennen-drahtes}$	Richtwirkung für S = Sendung E = Empfang für $l = 4 \lambda$ : 3,1 dB Gewinn	$d = \text{Drahtdicke;}$ bzgl. $R_s$ : s. Bild 9 Einwandfrei erden!

Antennen für Lang-, Mittel- und Kurzwellen

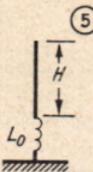
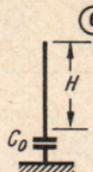
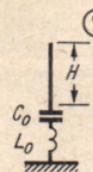
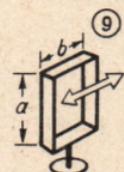
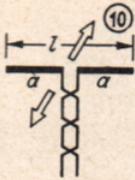
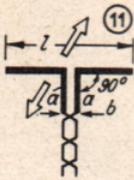
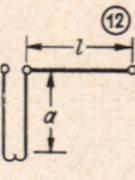
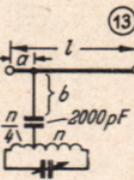
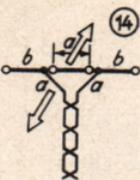
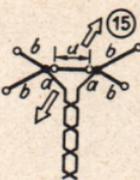
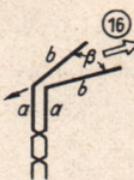
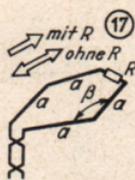
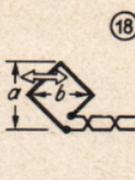
 <p>Verlängerte Vertikal-Antenne</p>	 <p>Verkürzte Vertikal-Antenne</p>	 <p>Verlängerte u. verkürzte Vertikal-Antenne</p>	 <p>Ferrit-Antenne</p>	 <p>Rahmen-Antenne</p>
<p>unbelastet <math>\lambda_0 = 4,1 \cdot H</math></p>	<p>unbelastet <math>\lambda_0 = 4,1 \cdot H</math></p>	<p>unbelastet <math>\lambda_0 = 4,1 \cdot H</math></p>	<p><math>\lambda_0 = 2\pi \sqrt{L \cdot C}</math></p>	<p><math>\lambda_0 = 2\pi \sqrt{L \cdot C}</math></p>
<p><math>R_s = 160 \pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2</math> für <math>H = \lambda/4</math> : etwa 20...30 <math>\Omega</math></p>	<p><math>R_s = 160 \pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2</math></p>	<p><math>R_s \approx 160 \pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2</math></p>	<p>—</p>	<p><math>R_s = 640 \pi^4 \left(\frac{n \cdot F}{\lambda^2}\right)^2</math> <math>\approx \frac{88 \cdot a \cdot b \cdot n}{\lambda}</math> für <math>\sqrt{F} &lt; \lambda</math></p>
<p><math>Z = \sqrt{\frac{L}{C}}</math></p>	<p><math>Z = \sqrt{\frac{L}{C}}</math></p>	<p><math>Z = \sqrt{\frac{L}{C}}</math></p>	<p><math>Z = \sqrt{\frac{L}{C}}</math></p>	<p><math>Z = \sqrt{\frac{L}{C}}</math></p>
<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>statische Abschirmung</p>	<p>statische Abschirmung</p>
<p>einwandfrei erden! <math>L_0 = \frac{\lambda}{1,885} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \cot \frac{360}{\lambda} \cdot H</math> [cm] <math>C_0 = \frac{477,8 \cdot \lambda}{\sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \cot \left(\frac{360}{\lambda} \cdot H\right)}</math></p>	<p><math>C_0 = \frac{477,8 \cdot \lambda}{\frac{1,885}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \cot \left(\frac{360}{\lambda} \cdot H\right)}</math> <math>C_0, L_0</math> in [cm]</p>	<p>Pfeil gilt für Empfangsmaximum</p>	<p>Pfeil gilt für Peilmaximum *) O = Oberfläche (cm<sup>2</sup>) = Mantel + 1 Stirnfläche</p>	

Tabelle 2: Kurzwellen-Antennen

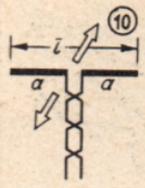
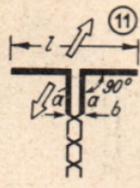
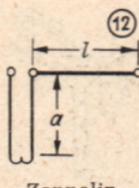
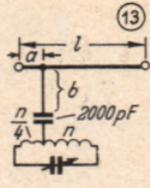
Form	 <p><math>\frac{\lambda}{2}</math> - Dipol</p>	 <p>Johnson-Q-Antenne</p>	 <p>Zeppelin-(Beggerow-)Antenne</p>	 <p>Windom-Antenne</p>								
<p>Übliche Abmessungen</p>	$a \approx \frac{\lambda}{4}$ $l = \frac{\pi}{2} I_w - 5 \dots 8\%$	<p><math>a = 12 \text{ mm } \phi</math>                  Alu-Rohr                  0,78 <math>\lambda</math> lang  <math>b = 3 \dots 15 \text{ cm}</math>                  (je nach Z)  <math>l = 1,56 \lambda</math></p>	<p>für <math>l = 0,475 \lambda</math>:  <math>a = 1,3, 5, 7 \dots \times \frac{l}{2}</math>                  für <math>l = 0,475</math>                  od. <math>0,95 \lambda</math>:  <math>2a = 1, 3, 5, 7 \dots</math>  <math>\dots \times 0,4 \lambda</math></p>	<p><math>l = 0,483 \lambda</math>  <math>b = \text{beliebig lang (mind. } \lambda/3)</math></p> <table border="1" data-bbox="844 540 1015 682"> <tr> <td><math>a</math></td> <td>0,176</td> <td>0,167</td> <td>0,162 <math>\lambda</math></td> </tr> <tr> <td>Draht <math>\phi</math></td> <td>1,8 mm</td> <td>1,0 mm</td> <td>0,6 mm</td> </tr> </table>	$a$	0,176	0,167	0,162 $\lambda$	Draht $\phi$	1,8 mm	1,0 mm	0,6 mm
$a$	0,176	0,167	0,162 $\lambda$									
Draht $\phi$	1,8 mm	1,0 mm	0,6 mm									
<p>(Statische) Kapazität</p>	<p>nur meßbar</p>	<p>nur meßbar</p>	<p>wird zweckmäßig gemessen</p>	$C_s \approx \frac{l}{2 \ln \frac{r}{b}} [\text{cm}]$ <p>für <math>b &lt; \lambda</math>  <math>r = \text{Radius des Antennen-drahtes}</math></p>								
<p>(Statische) Induktivität</p>	<p>wird zweckmäßig gemessen</p>	<p>wird zweckmäßig gemessen</p>	<p>wird zweckmäßig gemessen</p>	$L_s \approx 2 l \ln \frac{2b}{r} [\text{cm}]$ <p>für <math>b &lt; \lambda</math>                  (ohne Ableitung!)</p>								
<p>Wirksame Höhe</p>	$h_w \approx \frac{l}{2} \approx H, \text{ wenn } l < \lambda; H < \lambda$ $\text{Absorptionsfläche} \approx \frac{\lambda^2}{8}$			$h_w \approx b$ <p>(für <math>b &gt; \lambda</math>)</p>								
<p>Wirksame Länge</p>	$I_w = \frac{2}{\pi} \cdot l$	$I_w \approx \frac{2}{\pi} l$	<p>—</p>	<p>—</p>								

siehe auch Tabelle 1, (3) bis (7)

 <p>Y-Dipol</p>	 <p>Dreifach-V-Dipol</p>	 <p>V-Antenne</p>	 <p>Rhombus</p>	 <p>Rahmen-Antenne</p>																									
$2b + a = \frac{\lambda}{2}$ $a = \lambda/6 \dots \lambda/8$	$a = 3 \text{ m}$ $b = 4,8 \text{ m}$	$a = \frac{\lambda}{4}$ <table border="1" data-bbox="393 509 543 666"> <thead> <tr> <th>b</th> <th><math>\beta</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\lambda</math></td> <td>110°</td> </tr> <tr> <td>1,5 <math>\lambda</math></td> <td>90°</td> </tr> <tr> <td>2 <math>\lambda</math></td> <td>75°</td> </tr> <tr> <td>4 <math>\lambda</math></td> <td>50°</td> </tr> </tbody> </table>	b	$\beta$	$\lambda$	110°	1,5 $\lambda$	90°	2 $\lambda$	75°	4 $\lambda$	50°	$a = 4,1 \lambda;$ $R = 800 \Omega$ $\beta = 180^\circ - 2\vartheta^*$ $H = 0,83 \lambda$ <table border="1" data-bbox="574 556 740 682"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math> (°)</th> <th>a (<math>\lambda</math>)</th> <th>dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>90</td> <td>1,5</td> <td>6,8</td> </tr> <tr> <td>104</td> <td>2</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>130</td> <td>4,5</td> <td>11,7</td> </tr> </tbody> </table>	$\beta$ (°)	a ( $\lambda$ )	dB	90	1,5	6,8	104	2	8	120	3	10	130	4,5	11,7	$a = 44 \text{ cm}$ $b = 41 \text{ cm}$ <p>Drahtlänge: 1,27 m</p>
b	$\beta$																												
$\lambda$	110°																												
1,5 $\lambda$	90°																												
2 $\lambda$	75°																												
4 $\lambda$	50°																												
$\beta$ (°)	a ( $\lambda$ )	dB																											
90	1,5	6,8																											
104	2	8																											
120	3	10																											
130	4,5	11,7																											
<p>wie ① und ② (Tab. 1), wenn <math>(2b + a) &lt; \lambda</math></p>	<p>nur meßbar</p>	<p>wie bei divergierender Leitung</p>	<p>wie bei divergierender Leitung</p>	<p>—</p>																									
<p>wie ① und ② (Tab. 1), wenn <math>(2b + a) &lt; \lambda</math></p>	<p>nur meßbar</p>	<p>wie bei divergierender Leitung</p>	<p>wie bei divergierender Leitung</p>	$L_s \approx 1,25 \cdot \frac{l^2}{\sqrt{F}} \text{ [cm]}$ <p>l = Drahtlänge [cm] F = Rahmenfläche [cm²]</p>																									
<p>etwa gleich der wirklichen Höhe, wenn diese <math>&lt; \lambda</math></p>			<p>wenn <math>H &lt; \lambda; h_w \approx H</math> <math>H = \text{Höhe über Boden}</math></p>	$h_w \approx \frac{2\pi F}{\lambda} \text{ [cm]}$ <p>F = Rahmenfläche</p>																									
<p>—</p>	<p>—</p>	<p>abhängig von <math>\beta</math></p>	<p>—</p>	<p>—</p>																									

\*) Siehe Fortsetzung dieser Tabelle nächste Seite!

Fortsetzung: Tabelle 2: Kurzwellen-Antennen

<p>Form</p>	 <p><math>\frac{\lambda}{2}</math> - Dipol</p>	 <p>Johnson-Q-Antenne</p>	 <p>Zeppelin-(Beggerow-)Antenne</p>	 <p>Windom-Antenne</p>
<p>Eigenwelle</p>	$\lambda_0 = 2 \cdot l_w$	$\lambda_0 = f(a, l)$	$\lambda_0 = f(a, l)$	$\lambda_0 \approx 2,07 l$ $l \text{ [m]} \approx \frac{142 \cdot 500}{f \text{ [kHz]}}$
<p>Strahlungswiderstand</p>	$R_s = 75 \sqrt{\frac{2l_w}{\lambda}}$ für $\frac{l_w}{\lambda} \geq 3$ : $R_s = 72,5 + 30 \ln \frac{l}{\lambda}$	$R_s = 80 \pi^2 \left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	$R_s = 80 \pi^2 \left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	$R_s \approx 160 \pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2$
<p>Wellenwiderstand</p>	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 120 \ln \left(\frac{l_w}{2r} - 0,65\right)$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	von $a$ abhängig	Speiseleitung: z. B.: 600 $\Omega$ bei 1,5 mm $\phi$ und $a = \lambda/6 \dots \lambda/7$
<p>Erhöhung der Richtwirkung durch:</p>	Reflektor, ca. 5 % länger als $l$ , im Abstand von 0,15 $\lambda$ vom Dipol, s. a. ⑩	wie ⑩	wie L-Antenne oder Dipol, je nach $l : \lambda$	
<p>Bemerkungen:</p>	$\ln = \text{nat. Log.}$ $r = \text{Drahtradius}$	-	abgestimmte Speiseleitung mit stehenden Wellen	schwierig abzustimmen

siehe auch Tabelle 1, (3) bis (7)

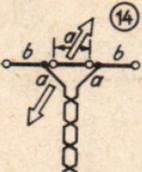
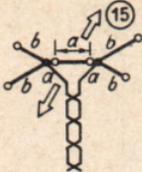
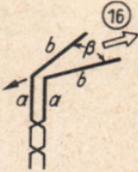
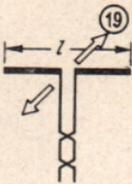
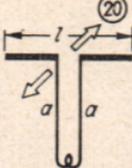
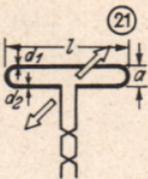
 <p>Y-Dipol</p>	 <p>Dreifach-V-Dipol</p>	 <p>V-Antenne</p>	 <p>Rhombus</p>	 <p>Rahmen-Antenne</p>
$\lambda_0 \approx 2(2b + a)$	16...25-m-Bereich	siehe oben, je nach Abmessungen	je nach a, mit R = größere Bandbreite auch für UKW	16...35-m-Bereich
$R_s \approx 80 \pi^2 \left(\frac{I_w}{\lambda}\right)^2$	$R_s = 80 \pi^2 \left(\frac{I_w}{\lambda}\right)^2$	$R_s = 80 \pi^2 \left(\frac{I_w}{\lambda}\right)^2$	-	$R_s \approx \frac{88 \cdot F}{\lambda}$ $\approx 197 I^4$ für $l < 0,08 \lambda$
durch V-Ab- leitung = Z der Speise- leitung z. B. 600 $\Omega$ für Sender 75 $\Omega$ für Empfänger	durch V-Ab- leitung = Z der Speise- leitung	$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$ z. B. 600 $\Omega$	$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$ bei Resonanz: $ \mathfrak{Z}  = R$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$
Reflektordraht 1,05 (a + 2 b) lang, (nur für 1 Wellenlänge) in $\frac{\lambda}{4}$ Abstand	-	Reflektor- system gleicher Gestalt, jedoch nicht ange- schlossen	$R = Z =  \mathfrak{Z} $ $a \geq 6 \lambda$	-
einfach anzu- passen und abzustimmen	wie ⑭, aber kleinere Baulänge	bei a = 0: Speiseleitung abstimmen Gewinn: 3 dB über Einzeldraht	Montage parallel zur Erdoberfläche *) $\beta$ = Wellen- Einfallswinkel	-

Tabelle 3: UKW- und Fernseh-Antennen

<p>Form</p>	 <p><math>\frac{\lambda}{2}</math>-Dipol</p>	 <p>Symmetrische Zeppelin- Antenne</p>	 <p>Falt- oder Schleifendipol</p>
<p>Übliche Abmessungen</p>	<p>bis <math>\lambda = 5 \text{ m}</math> : <math>l = 0,470 \lambda</math> <math>\lambda = 5 \dots 10 \text{ m}</math> : <math>l \approx 0,477 \lambda</math> abh. von Z/Draht- durchmesser</p>	<p><math>l = 0,475 \lambda</math> <math>a = 1, 2, 3, 4 \dots \times l</math> oder: <math>2a = 1, 2, 3, 4 \dots</math> <math>\dots \times 0,8 \lambda</math></p>	<p><math>a = 0,016 \lambda</math> <math>l = 0,477 \lambda</math> <math>d_1 = d_2</math></p>
<p>Strahlungs- widerstand</p>	<p><math>R_s = 75 \sqrt{\frac{2 I_w}{\lambda}}</math> oder: <math>80 \pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2</math></p>	<p><math>R_s \approx 75 \sqrt{\frac{2 I_w}{\lambda}}</math> <math>I_w = f(a, l)</math></p>	<p>abhängig von <math>a, d_1, d_2</math></p>
<p>Anpassungs- widerstand</p>	<p>Beispiel: ohne Reflektor: 72...75 <math>\Omega</math> mit Reflektor: 60 <math>\Omega</math> mit Reflektor + Direktor: 20...30 <math>\Omega</math></p>	<p>= Wellen- widerstand der Speise- leitung</p>	<p>ohne Reflektor: 288 <math>\Omega</math> mit Reflektor: 250 <math>\Omega</math> mit Reflektor + Direktor: 80...120 <math>\Omega</math></p>
<p>Erhöhung der Richtwirkung durch:</p>	<p>Reflektor = <math>\frac{\lambda}{2}</math> lang Direktor = <math>0,458 \lambda</math> lang Abstand jeweils: <math>\frac{\lambda}{4} \dots \frac{\lambda}{8}</math></p>		<p>Antennengewinn 0 dB mit Reflektor <math>\approx 5</math> dB mit Reflektor + Direktor 5...7 dB mit Reflektor + 2 Direktoren 8...11 dB</p>
<p>Bemerkungen</p>	<p><math>I_w = \frac{2}{\pi} \cdot I</math> <math>h_w \approx \frac{l}{2}</math> Absorptions- fläche <math>\approx 0,13 \lambda^2</math></p>	<p>stehende Wellen auf der Speiseleitung!</p>	<p>wenn <math>d_2 &lt; d_1</math> ergeben sich höhere An- passungs- widerstände und umgekehrt</p>

siehe auch Tabelle 2 (10), (11), (16)

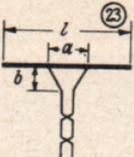
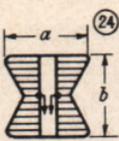
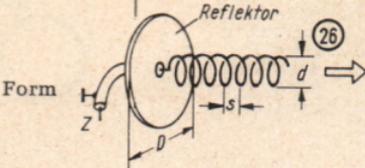
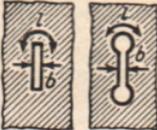
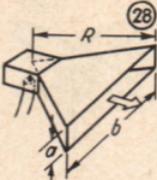
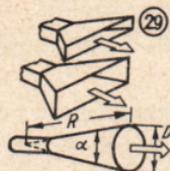
 <p>Kreuzdipol</p>	 <p>T-Antenne</p>	 <p>Schmetterlings-Antenne</p>	 <p>Ringantenne</p>
<p>wie 22), Verbindung durch <math>\frac{\lambda}{2}</math>-Leitung</p>	<p><math>l = 0,47 \lambda</math> <math>a = 0,13 \lambda</math> <math>b = 0,15 \lambda</math></p>	<p><math>a \approx 0,5 \lambda</math> <math>b \approx 0,6 \lambda</math> Alu-Rohr 10 mm <math>\phi</math></p>	<p>gestreckte Länge <math>l \leq \frac{\lambda}{2} \dots \lambda</math> Alu-Rohr 10 mm <math>\phi</math></p>
<p>-</p>	<p><math>\approx \frac{\lambda}{2}</math>-Dipol</p>	<p>je nach Schlitzbreite</p>	<p>für <math>l &lt; 0,08 \lambda</math> : <math>R_s = 197 \cdot l^4</math> <math>l = \frac{\lambda}{2}</math> : hochohmig <math>l = \lambda</math> : z. B. 50 <math>\Omega</math></p>
<p>z. B. 40 bzw. 150 <math>\Omega</math> Welligkeit <math>s = 2</math> bei 240-<math>\Omega</math>-Abschluß</p>	<p>240 <math>\Omega</math> je nach <math>a</math></p>	<p>niederohmig</p>	<p>je nach <math>l</math></p>
<p>keine Richtwirkung (Rundempfang)</p>	<p>Reflektor und Direktoren</p>	<p>Richtwirkung wie Dipol; mit 2. Doppel- flügel quer: Rundempfang</p>	<p>Vertikale Stellg.: wie bei normaler Rah- menantenne; bei horizon- taler Lage Rundempfang</p>
<p>Gewinn: - 2...3 dB</p>	<p>Einfachste Konstruktion</p>	<p>Breitband- Fernseh- antenne, auch für AM-Bereiche</p>	<p>für <math>l \approx \lambda</math> wirkt die vertikale Ringantenne scharf vertikal bündelnd</p>

Tabelle 4: Dezimeter-Antennen

<p>Form</p> 	<p>Wendelantenne</p>	 <p>Schlitzstrahler</p>	 <p>Hornstrahler</p>																				
<p>Übliche Abmessungen</p>	<p>≥ 3 Windungen</p> <table border="1" data-bbox="335 537 505 715"> <thead> <tr> <th>MHz</th> <th>d cm</th> <th>s cm</th> <th>D cm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>146</td> <td>66</td> <td>46</td> <td>104</td> </tr> <tr> <td>222</td> <td>43</td> <td>29</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>435</td> <td>22</td> <td>15</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>480</td> <td>13</td> <td>9,2</td> <td>23</td> </tr> </tbody> </table>	MHz	d cm	s cm	D cm	146	66	46	104	222	43	29	69	435	22	15	36	480	13	9,2	23	<p>je nach Wellenlänge und -typ</p> <p>—</p> <p>Kapazität:</p> $C = f\left(\frac{1}{b}\right)$ <p>Induktivität:</p> $L = f(l)$	<p>je nach Wellenlänge und -typ</p> $\frac{\lambda}{2} < a < \frac{3}{2} \lambda$
MHz	d cm	s cm	D cm																				
146	66	46	104																				
222	43	29	69																				
435	22	15	36																				
480	13	9,2	23																				
<p>Erhöhung der Richtwirkung durch:</p>	<p>mehr Windungen und großen Reflektor (zirkular polarisiert)</p>	<p>Reflektor- und Direktor-schlitz in der gleichen Metallebene</p>	<p>Änderung der Trichter-abmessungen</p> $\frac{b}{\lambda} \text{ und } \frac{R}{\lambda};$ <p>Abstrahlung über Parabol-spiegel</p>																				
<p>Bemerkungen</p>	<p>Große Bandbreite bei konischer Spule</p> <p>—</p> <p>Anschluß an konzentrische Leitungen</p> $Z = 140 \pi \cdot d$ <p>[<math>\pi \cdot d</math> in <math>\lambda</math>]</p> <p>z. B. 93 <math>\Omega</math></p>	<p>Anwendung bei Hohlraum-Resonatoren und -leitern, bei UKW als Schmetterlingsantenne mit Drahtleitung</p>	<p>Anschluß an konzentrische Leitungen</p> <p>Absorptionsfläche:</p> $0,45 \dots 0,81 \cdot a \cdot b$																				

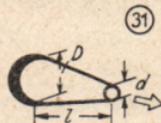
siehe auch Tabelle 3 (19)



Hornstrahler



Massiver dielektrischer  
Stabstrahler



Massiver dielektrischer  
Kegelstumpf-Strahler

jenach Wellenlänge und -typ

$$\text{z. B. } \frac{\lambda}{2} < a < \frac{3}{2}\lambda$$

$$R = \frac{0,3 \lambda \cos \frac{\alpha}{2}}{\left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)}; D = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$D = \frac{0,36 \dots 0,58 \lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$$

$$l = \text{z. B. } 1,8 \lambda$$

auch in Rohrform

$$D = \frac{0,58 \lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$$

$$d = \frac{0,36 \lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$$

z. B.  $\varepsilon = 2,5$ ,  $l \approx 50 \text{ cm}$   
 $D = 5,7 \text{ cm}$ ,  $d = 3,2 \text{ cm}$ ,  
 $\lambda = 12,2 \text{ cm}$

Änderung der  
Trichter-  
abmessungen

$$\frac{b}{\lambda} \text{ und } \frac{R}{\lambda};$$

Abstrahlung  
über Parabol-  
spiegel

Reflektorring am Erregerende

$$\frac{\lambda_{\text{Luft}}}{\lambda_{\text{Diel.}}} \approx 1 \text{ (z. B., wenn } D \leq 0,29 \lambda_{\text{Luft}})$$

Anwendung  
bei Hohlraum-  
resonatoren  
und -leitern  
Absorptions-  
fläche:

$$0,45 \dots 0,81 \cdot a \cdot b$$

Erregung:

Stielstrahler (massiv): unsymmetrisch  
 Mantelstrahler (rohrförmig): symmetrisch  
 $\varepsilon =$  Dielektrizitätskonstante des Strahler-  
 werkstoffes

entspricht. Daher ergibt sich leicht ein stark schwankendes schlechtes Wellenverhältnis (unterschiedliche Strom- und Spannungsverteilung infolge von Reflexionen an Stoßstellen und stehenden Wellen) über den Frequenzbereich des betreffenden Bandes.

Wie man trotz guter Bündelung und hoher Spannungsgewinne ausreichende Breitbandeigenschaften erreichen kann, wird in Abschnitt 10. c) erörtert.

#### **e) Dezimeterantennen (Tabelle 4)**

##### *1. Dipole*

Dipolantennen für Dezimeterwellen (Fernsehbereich IV/V) gehorchen den gleichen Gesetzen wie diejenigen für Kurz- und Ultrakurzwellen, stellen also praktisch nur verkleinerte Ausführungsformen der UKW-Dipole dar. Da aber ihre Elementedurchmesser nicht in gleichem Maße wie die Dipollängen verringert werden können, weichen Dezimeter-Yagi-Antennen weit mehr von den theoretischen Voraussetzungen ab als Dipolssysteme für längere Wellen, so daß sich ihr konstruktiver Aufbau nach den Ergebnissen langer Meßreihen richtet.

2. Die Schlitzstrahler [1] wurden schon im Abschnitt 2 erwähnt. Typische Ausführungsbeispiele zeigt Bild 27 der Tabelle 4. Die Abmessungen des Schlitzes bestimmen hier die Resonanzfrequenz, und zwar wächst die Kapazität mit abnehmender Schlitzbreite, während die Induktivität mit zunehmendem Abstand der Schlitzenden steigt. Derartige Strahler eignen sich besonders für Hohlraumleiter, wo sie als mehr oder weniger geneigte und mehr oder weniger tief in die Wandung eingeschnittene Schlitzpaare die gleichen Wirkungen zeigen wie Dipole und ihre Direktoren und Reflektoren in der UKW-Technik.

Eine zum Anschluß an Bandleitungen geeignete Form der Schlitzstrahler ist die Schmetterlings-Antenne (Tabelle 3, Bild 24).

3. Bewährt haben sich auch die *Hornstrahler*, besonders in Verbindung mit elektrischen Linsen [11]. Sie können grundsätzlich an Hohlleitern wie auch an konzentrischen Leitungen betrieben werden. Dabei bestimmen ihre Abmessungen die Richtcharakteristik und den Antennengewinn, der meist über 10 dB liegt.

4. Eine Antennenklasse, die noch interessante Anwendungsmöglichkeiten verspricht, ist die der *dielektrischen Antennen* [4]. Ihr Hauptkennzeichen ist, daß das eigentlich strahlende Gebilde bei ausreichend hoher Dielektrizitätskonstante nicht metallisch ist, sondern aus irgendeinem guten Dielektrikum, also einem Isolator, besteht. Der dielektrische Strahler kann Zylinder-, Kegelstumpf- oder Rohrgestalt mit beliebiger Querschnittsform besitzen und weist für seine Resonanzfrequenzen eine ausgesprochene Richtwirkung auf. Außerdem arbeitet er mehr oder weniger selektiv, d. h. er wirkt nur in einem ganz bestimmten Frequenzband als Antenne, das durch seine voneinander abhängigen Abmessungen und die Dielektrizitätskonstante des benutzten Dielektrikums bestimmt wird.

5. Für breitbandige Systeme eignen sich auch die sogenannten *Linsenantennen*. Sie bestehen aus einer Reihe nebeneinander angeordneter Metallblenden, die gewissermaßen eine fächerartig unterteilte Hornstrahleröffnung bilden.

Ihre Funktion beruht auf dem Einfluß von Querschnittsänderungen eines Hohlleiters auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen und der dadurch gegebenen Möglichkeit, elektrische Wellen wie optische zu brechen.

Ähnlich wie bei den herkömmlichen Dipolen lassen sich auch bei den letztgenannten Antennenformen durch Gruppierung mehrerer Strahler in bestimmter Anordnung höhere Strahlbündelungen und entsprechende Spannungsgewinne erzielen.

## **f) Allwellenantennen**

Die mitunter recht beträchtlichen Kosten für einwandfreie Antennenanlagen ließen den berechtigten Wunsch entstehen, mit einer Anlage möglichst alle in Betracht kommenden Frequenzgebiete zu erfassen.

Im Laufe der Zeit wurde die exakte Lösung dieser Aufgabe immer schwieriger; denn während man sich vor dem Jahre 1940 noch mit den Kurz-, Mittel- und Langwellenbereichen zufriedengeben konnte (das in den Jahren 1938/39 eingeführte Fernsehen hatte noch keine Verbreitung gefunden), kamen in den Jahren nach 1945 zunächst der Bereich II (3-m-Band) für den UKW-FM-Rundfunk und danach Bereich III (1,5-m-Band) für den Fernseh-

Rundfunk hinzu. Der Fernsehbereich I (4,4 bis 7,5 m) hat bei uns nicht die Bedeutung wie im europäischen Ausland erlangt, während die Fernsehbereiche IV und V mit Dezimeterwellen zwischen 64 und 38 cm Länge für die Übermittlung des Zweiten und Dritten Fernsehprogramms wiederum eigene Antennen benötigen.

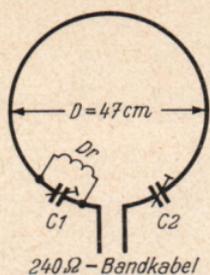
Die im Handel befindlichen Allwellenantennen sind durchaus nicht für alle diese Frequenzgebiete bestimmt; sie lassen sich pauschal in zwei Klassen einteilen:

1. Abgestimmte UKW-Antennen (Bereich II und/oder III), deren Eigenkapazität bei niedrigeren Frequenzen für einen Empfang der klassischen Wellenbereiche ausreicht.
2. Kombinationen einer Stabantenne für AM-Empfang mit UKW- und Fernseh-Dipolssystemen, die über entsprechende Weichen auf eine gemeinsame Speiseleitung arbeiten. Solche Kombinationen bilden den Kern aller Gemeinschaftsantennenanlagen.

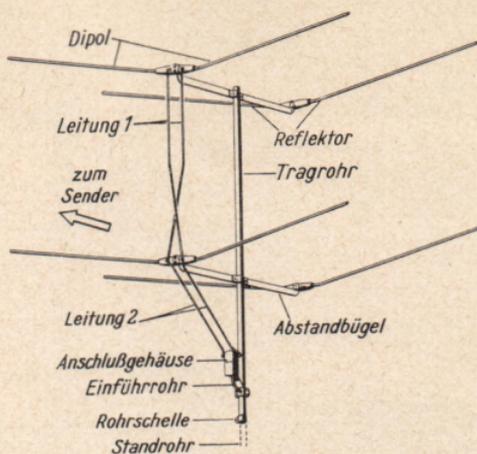
In beiden Klassen sind die verschiedensten Ausführungsformen entwickelt worden, deren Beschreibung hier zu viel Raum beanspruchen würde. Zudem geben alle namhaften Firmen ausführliche Unterlagen über ihre Antennen heraus, denen alle gewünschten Einzelheiten zu entnehmen sind. Wir wollen uns daher hier auf einige wenige Beispiele beschränken (ohne daß damit ein Werturteil verbunden wäre).

Eine abgestimmte UKW-Antenne für Rundempfang, die in den meisten Fällen auch für befriedigenden AM-Empfang ausreicht, ist die bekannte *Hirschmann-URA-Antenne*, deren Prinzip in **Bild 21** wiedergegeben ist. Diese horizontal montierte Ringantenne ist kapazitiv (C 1, C 2) auf die Mitte des Bereichs II abgestimmt. Für die längeren Wellen ist der eine Kondensator durch eine Drossel überbrückt, während der kapazitive Widerstand des anderen einen Kurzschluß der niederfrequenten Antennenspannung verhindert.

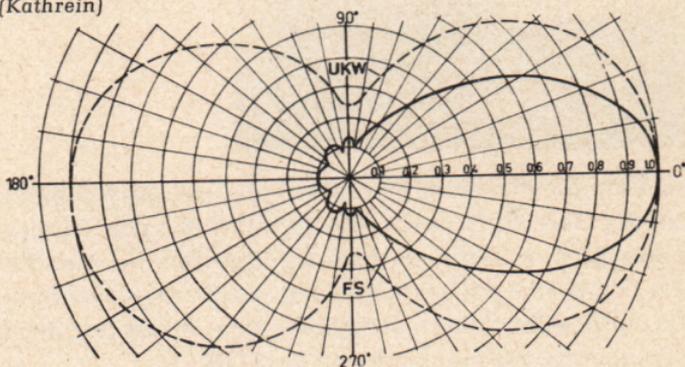
Merkbar höhere Antennenspannungen liefert die ebenfalls schnell bekanntgewordene *Roka-Doppel-V-Antenne*, deren Konstruktion (V-förmige Dipole und Reflektoren in bis zu vier Ebenen übereinander) ihr gute Empfangseigenschaften in den Bereichen 45 bis 250 und 450 bis 600 MHz und für die AM-Bereiche verleiht. Antennengewinn und Vor-/Rück-Verhältnis sind fre-



Oben: Bild 21.  
Prinzip der Hirschmann-  
UKW-Ringantenne



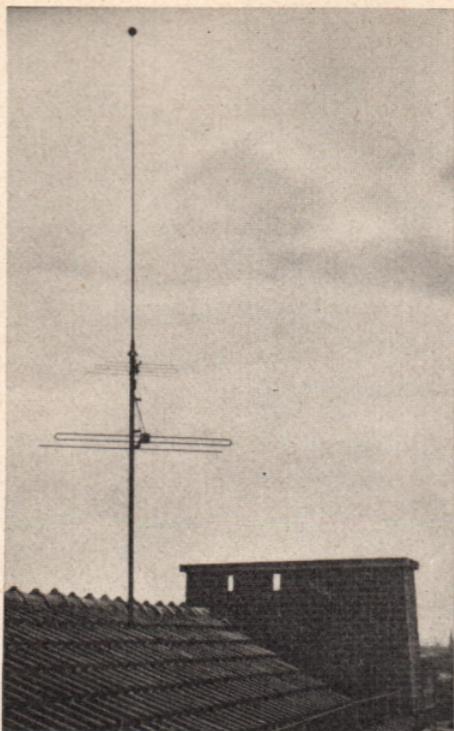
Rechts und unten:  
Bild 22. Zweiebenen-Antenne  
Rufa 2 mit Ganzwellendipolen  
für Bereich III, die sich  
(mit Dipolcharakteristik) auch  
für Bereich II und darüber  
hinaus für den AM-Empfang  
eignet (Kathrein)



quenzabhängig, so daß die Doppel-V-Antenne in den Bereichen I und III eine gute Bündelung zeigt, während sie im Bereich II etwa die Richtcharakteristik eines einfachen Dipols aufweist (Bild 77).

Eine ähnliche äußere Form hatte die Fernseh-, UKW- und Rundfunk-Antenne Rufa 2 der Firma Anton Kathrein. Ihren Aufbau und ihr Richtdiagramm für Bereich II und III zeigt **Bild 22**. Für Bereich III sind die Dipole etwa eine Wellenlänge lang.

Ein Beispiel für die Antennenkombinationen der zweiten Klasse ist die kombinierte Rundfunk- und Fernsehantenne von Siemens & Halske (**Bild 23**). Wie man sieht, besteht sie hier aus dem Tragrohr, an dem ein Faltdipol mit Reflektor für Bereich II



*Bild 23. Kombinierte Rundfunk-  
und Fernsehantenne von  
Siemens & Halske*

und ein entsprechend kürzerer Faltdipol mit Reflektor und Direktor für Bereich III montiert sind und das den Antennenkopf mit einer über 3 m langen Stabantenne für die AM-Bereiche trägt. An der Spitze der Antennenrute ist die Prasselschutzkugel deutlich erkennbar, deren Aufgabe es ist, durch Sprühercheinungen verursachte Störgeräusche zu verhindern.

Das Prinzip der Kombinationsantennen ist nach Baukastenart ausbaufähig: Man kann z. B. für Bereich II eine Rundempfangsantenne vorsehen und für Bereich III-V mehrelementige Richtantennen. Bei ausreichender Länge des Tragrohres kann man auch noch eine Richtantenne für Bereich I anbringen. Es ist nur für die einwandfreie Anpassung aller Teile untereinander und mit den zugehörigen Weichen, Übertragern und Leitungen zu sorgen, soweit die Antennen nicht schon fabrikmäßig vormontiert sind. Ferner sollte man darauf achten, daß sich Richtantennen verschiedener Bereiche nicht durch Strahlungskopplung gegenseitig beeinflussen.

## g) Gemeinschaftsantennenanlagen

Parallel zu dem Wunsch, Antennen für mehrere Bereiche in einem einheitlichen Gebilde zu konzentrieren, läuft das Bestreben, von einer leistungsfähigen Außenantenne mehrere Rundfunkteilnehmer versorgen zu lassen, d. h. eine Gemeinschaftsantenne aus ihr zu machen. Die Vorteile solcher Gemeinschaftsanlagen liegen auf der Hand:

1. Mit dem Fortfall des architektonisch unschönen Antennenwaldes auf größeren Gebäuden entfallen auch die gegenseitigen Beeinflussungen strahlungsgekoppelter Einzelantennen.
2. Die auf den einzelnen Teilnehmer umgelegten Kosten sind im allgemeinen kleiner als die einer gleichwertigen Einzelantenne.
3. Die Verwendung von Antennenverstärkern und abgeschirmten, entkoppelten Leitungssystemen sichert ein besseres Signal-/Stör-Verhältnis, als es normalerweise mit einer auf kleinsten Aufwand beschränkten Einzelanlage zu erzielen ist.

Ogleich heute das Recht eines Mieters auf die Hochantenne gesichert ist, empfiehlt es sich also, bei allen Neubauten Gemeinschaftsanlagen vorzusehen und sie bei Altbauten mit zunehmender Zahl von Fernsehgeräten in Erwägung zu ziehen.

Den grundsätzlichen Aufbau einer Gemeinschaftsantennenanlage zeigt **Bild 24**, ein praktisches Ausführungsbeispiel ist in Kap. 17 beschrieben. Gemeinschaftsanlagen jeder Größe – von 4 bis zu über 1 200 Teilnehmern – müssen sehr sorgfältig geplant und berechnet werden, um die unvermeidbaren Kabel-, Dosen- und Filterdämpfungen sowie unterschiedliche Feldstärken in den zu empfangenden Bereichen durch geeignete Verstärker auszugleichen. **Tabelle 5** gibt an, welche Antennenspannungen in den einzelnen Empfangsbereichen angestrebt werden. Für die Berechnung der Anlagendämpfung enthalten die Druckschriften der Herstellerfirmen genaue Anleitungen mit Rechenbeispielen; außerdem haben mehrere namhafte Firmen besondere Rechenschieber hierfür herausgebracht.

Eine Weiterentwicklung der Gemeinschaftsanlagen für den Fernsehempfang in schlecht zu versorgenden Ortschaften ist die

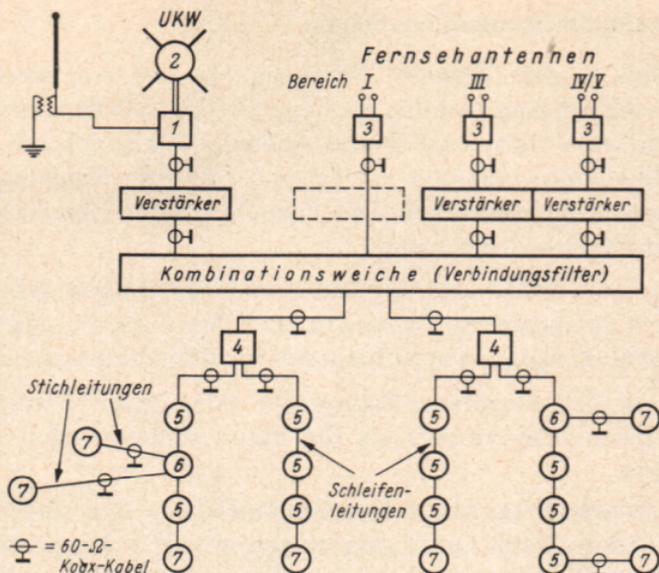


Bild 24. Grundsätzlicher Aufbau einer Gemeinschaftsantennenanlage (hier für 20 Teilnehmer). 1 = LMK-Übertrager, UKW-Symmetrierglied und Frequenzbereichsweiche; 2 = UKW-Kreuzdipol mit Phasenschieber; 3 = 240/60  $\Omega$ -transformierende Symmetrierglieder; 4 = Stammleitungsverteiler; 5 = (Doppel-)Durchgangs-Steckdosen mit Entkopplungswiderständen für Rundfunk- und Fernseh-Anschlußkabel; 6 = Stichleitungsabzweiger; 7 = Endsteckdosen mit Abschlußwiderständen

Telefunken-Fernseh-Ortsnetzanlage, die über kilometerlange Kabel mehr als 2000 Teilnehmer mit drei, in den Fernsehbereich I umgesetzten Programmen versorgen kann.

### h) Kraftwagen- und Bootsantennen

Antennen für Kraftwagenempfänger leiden unter Platzmangel. Man weiß nie so recht, wohin damit, wenn man eine möglichst große Antennenspannung erhalten will. Die günstigste Lösung ist natürlich die Anordnung auf dem Wagendach (z. B. horizontale Ringantennen 90 cm  $\phi$ , 10 cm hoch). Bei den üblichen Stabantennen bestand bei Dachmontage die Gefahr der Beschädigung beim Unterfahren von Bäumen, Durchfahrten und der Garageneinfahrt. Eine Hirschmann-Konstruktion vermied als erste die Beschädigungsgefahr durch die Anordnung eines Biegegliedes

Tabelle 5. Antennen-Ausgangsdaten für Einzelanlagen, z. T. nach DIN 45 313 und VDE 0855 Teil 2

Wellenbereich	Antennenfußpunkt	Leitungssystem	Welligkeit s	Spannung am Empfängereingang
L, M	unsymmetrisch z. B. 2500 $\Omega$	Einzelader gegen Erde	—	$\geq 500 \mu\text{V}$ für Orts- oder Bezirkssender; max. 300 mV
K	unsymmetrisch z. B. 400 $\Omega$	Einzelader gegen Erde	—	(keine allgemeingültige Angabe möglich)
II = UKW	symmetrisch 120...240 $\Omega$	Band- oder Schlauchleitung	$\leq 3$	$\geq 100 \mu\text{V}$ ; max. 100 mV für Stereo: $\geq 150 \mu\text{V}$
Fernsehen I	symmetrisch 120...240 $\Omega$	240- $\Omega$ -Band- od. Schlauchleitung oder (mit trans- formierenden Symmetriergliedern) 60- $\Omega$ -Koax-Kabel	1,5...3	$\geq 1 \text{ mV}$ ; max. 50 mV
Fernsehen III	symmetrisch 120...240 $\Omega$		$\leq 2,5$	$\geq 1 \text{ mV}$ ; max. 50 mV
Fernsehen IV/V	symmetrisch 120...240 $\Omega$		$\leq 2,5$	$\geq 1 \text{ mV}$ ; max. 50 mV

zwischen Montageteil und Antennenstab. In ganzer Länge flexibel sind Autoantennen mit Edelstahl- oder Glasfaserruten.

Auch weniger exponierte Antennen sind immer noch der Gefahr einer Beschädigung durch spielende Kinder oder bei der Wagenpflege ausgesetzt, zumal der Einbau im Regelfall seitlich von der Windschutzscheibe erfolgt. Neben den starren Autoantennen haben daher die teleskopartig zusammenschiebbaren bzw. versenkbaren Stabantennen große Verbreitung gefunden, die es auch als Schlüsselantennen gibt, bei denen das versenkte Teleskop nur mit Hilfe eines passenden Schlüssels herausgezogen werden kann. Teleskopantennen sind ferner in Ausführungsformen erhältlich, die das Ein- und Ausfahren vom Fahrersitz aus ermöglichen. Darunter gibt es Modelle, die über eine Handkurbel betätigt werden, und andere, bei denen dies ein kleiner Elektromotor besorgt, der meist automatisch anläuft, wenn der Empfänger ein- bzw. ausgeschaltet wird. Eine Übersicht über die wichtigsten Autoantennenarten vermittelt **Bild 25**.

Wegen der geringen wirksamen Höhe aller Autoantennen erhalten Kraftwagenempfänger grundsätzlich immer eine Hf-Vorstufe. Die dadurch erzielte hohe Empfindlichkeit setzt allerdings eine einwandfreie Entstörung der elektrischen Anlage voraus (vgl. RPB 59, Funk-Entstörungs-Praxis). Das gilt auch für den Empfang mit Transistorempfängern, die in fest installierte Einbauhalterungen eingeschoben werden.

Wenn wir von Fahrzeugantennen für kommerzielle Zwecke (Schiffe, Flugzeuge usw.) absehen, so interessieren den Praktiker noch Antennen für Boote und Yachten. Hier kommt es angesichts der feuchten und evtl. salzhaltigen Umgebung sehr auf die Wahl korrosionsbeständiger Werkstoffe und Verbindungselemente sowie darauf an, daß ein möglichst hoher Isolationswiderstand zwischen Antenne und Schiffskörper erhalten bleibt. Zur Isolation von Bootsantennen kommen daher nur Porzellan-, Keramik- oder Kunststoffisolatoren mit glatter Oberfläche und langen Kriechwegen in Frage.

Bei Antennen für AM-Empfang empfiehlt es sich, Drahtsysteme mit möglichst großer Eigenkapazität zu verwenden und dafür die Induktivität der Koppelspule im Empfänger kleiner als üblich zu wählen (damit das Verhältnis von Strahlungswider-

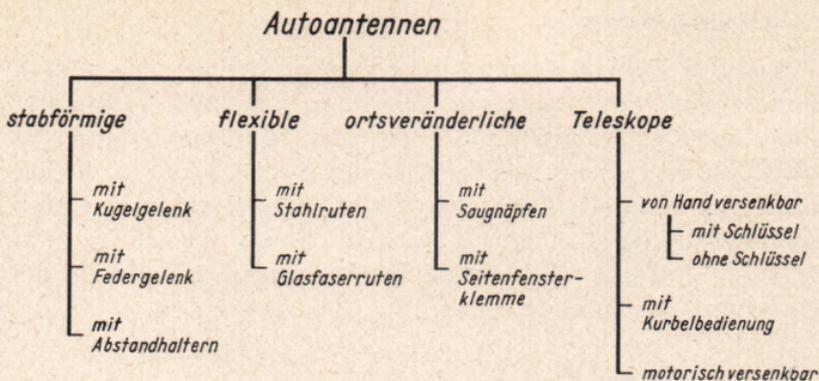


Bild 25. Stammbaum der Autoantennen

stand der Antenne zu Verlustwiderstand der Spule günstiger wird). Außerdem ist eine gute Erdung bei nichtmetallischen Bootskörpern durch Erdungsbleche oder -bänder unterhalb der Wasserlinie unerlässlich. Bezüglich der Blitzgefahr sind die üblichen Vorschriften zu beachten.

### i) Zimmer- und Behelfsantennen

Als Behelfsantenne läßt sich so ziemlich jeder metallische Gegenstand nennenswerter Ausdehnung verwenden. Angefangen bei Gardinenstangen über Klaviersaiten, Metallmatratzen, über reguläre Zimmerantennen mehr oder weniger phantastischer Konstruktion bis zu den Gas-, Wasser-, Heizungs- und (über Schutzkondensator!) Lichtleitungen, wird praktisch alles, was irgendwie Wellen absorbiert, für Empfangszwecke benutzt. Jedoch wäre es wenig sinnvoll, im Rahmen unserer Betrachtungen über Antennen hierfür auch noch Hinweise zu geben. Eine Außenantenne ist in jedem Fall einer Zimmer- oder Behelfsantenne überlegen, auch wenn die örtlichen Verhältnisse noch so sehr zur Benutzung von Behelfsantennen einladen. Der Praktiker findet eine Übersicht über die gebräuchlichsten Innenantennen in Bild 95. Darin sind auch abgestimmte Zimmerantennen aufgeführt, deren für Fernsehempfang geeignete Ausführungen in Kapitel 13 besprochen werden.

## k) Gehäuseantennen

Unter den Behelfsantennen gibt es eine Gruppe, die sich in einem wesentlichen Punkt von den unter i) erwähnten Möglichkeiten unterscheidet. Gemeint sind die Gehäuseantennen, die bereits optimal dimensioniert von der Fabrik und – wie der Name sagt – unmittelbar in die Gehäuse von Rundfunk- und Fernsehempfängern eingebaut werden. Streng genommen zählen hierzu auch die eingebauten Rahmenantennen, während die Ferrit-Antennen im allgemeinen zum Chassis gehören.

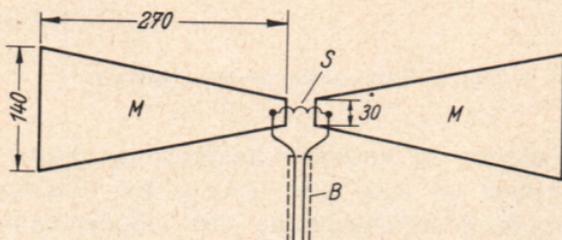


Bild 26. UKW-Gehäuseantenne. M = Metallfolie,  
S = freitragende UKW-Spule, B = Bandleitung  
(Körting)

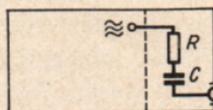
Die Mehrzahl aller Gehäuseantennen sind Dipole für die Bereiche II, III oder IV/V, die den besonderen Verhältnissen der Gehäusemontage in Chassisnähe angepaßt sind. Sie bestehen entweder aus trapezförmigen Metallfolien (**Bild 26**) oder sind aus Bandleitungen gefertigt, wobei eine mechanische Verkürzung durch elektrische Mittel (z. B. Spulen) kompensiert wird.

## l) Künstliche Antennen

Der Vollständigkeit halber sollen hier noch die künstlichen Antennen erwähnt werden, die für Meßzwecke benutzt werden. Sie bestehen meist aus Serienschaltungen von Kapazitäten mit Widerständen und auch Induktivitäten, welche die elektrischen Eigenschaften der Antennen im gegebenen Frequenzbereich nachbilden sollen. So werden künstliche Sendeantennen entsprechend hoher Belastbarkeit benutzt, um im Prüffeld Sender abzugleichen und zu messen, ohne die gesamte Umgebung mit der Sende-

frequenz versehen zu müssen. Für Empfänger-messungen werden künstliche Antennen z. B. nach **Bild 27** benutzt. Ersatzantennen für den UKW- und Dezimeterbereich bestehen meist nur aus

Bild 27. Beispiel  
für die Bemessung  
künstlicher  
Antennen



$$R = 400 \Omega$$
$$C = 200 \text{ pF}$$

induktionsfreien Widerständen, deren Wert dem Wellenwiderstand der Leitung und/oder dem Fußpunkt-widerstand der zu ersetzenden Antenne angepaßt wird.

## 5. Wahl des Aufstellungsortes

Wer die in den vorangegangenen Abschnitten geschilderten theoretischen Beziehungen und die in den Tabellen gegebenen praktischen Hinweise berücksichtigt, weiß nun schon, daß es im allgemeinen immer darauf ankommt, jede Antenne möglichst weit von der Erde zu entfernen, also möglichst hoch zu bauen, um die am Empfangsort vorhandene Feldstärke weitgehend auszunutzen. Dabei wurde immer darauf hingewiesen, daß Häuser, Bäume und dergleichen ebenfalls als zur Erde gehörig zu betrachten sind. Die Erklärung hierfür soll jetzt gegeben werden. Über ebener Erde liegen im Idealfall die (gedachten) Potentiallinien parallel zur Erdoberfläche. Durch die auf der Erdoberfläche stehenden Gebilde werden diese Potentiallinien verschoben und stellenweise zusammengedrängt, wie dies **Bild 28** schematisch zeigt. Hier erkennen wir, daß die Antenne A, eine übliche L-An-

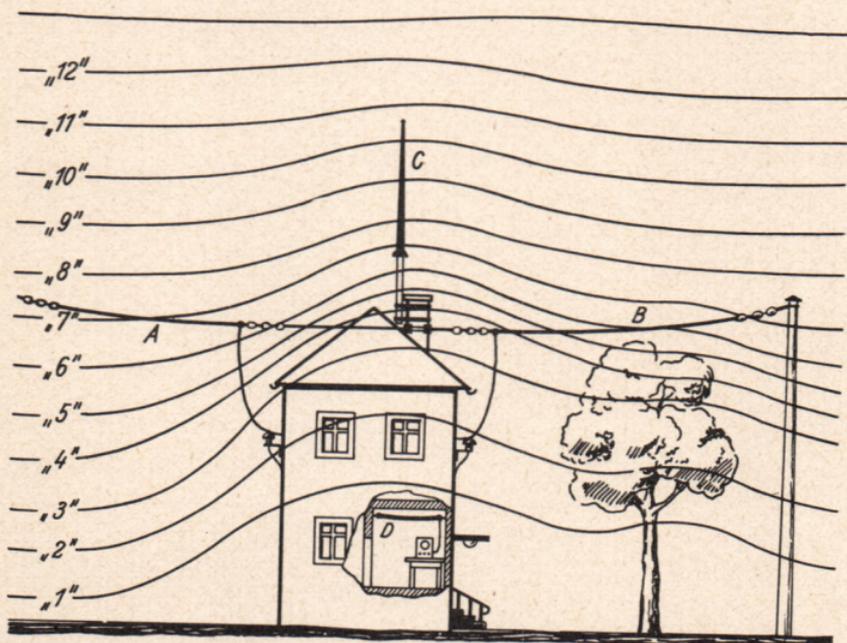


Bild 28. Antennen im gestörten Senderfeld

tenne, frei im Gelände hängt, so daß sie etwa die Feldstärke „6,5“ ausnutzen kann, während die gleiche Antenne auf der anderen Seite des Hauses (B in Bild 28) über Bäume hinwegführt und daher die genannte Feldstärke nur teilweise erhalten kann. Gleichzeitig sieht man aber am Beispiel C des gleichen Bildes, daß auch eine ausdehnungsmäßig viel kleinere Stabantenne, wenn sie nur geschickt aufgestellt ist, eine verhältnismäßig hohe Feldstärke („9“) erhalten kann. Ganz schlecht kommt dabei eine Innenantenne D mit der Feldstärke „0,8“ weg. An dieses Bild der Feldlinien sollte man immer denken, wenn man eine Antenne aufstellen will. Es gilt für lange Wellen bis zu den mittleren Kurzwellen.

Bei den ultrakurzen und Dezimeterwellen ist eine andere Vorstellungsart günstiger, nämlich die, daß die Antenne den Sender „sehen“ kann. Man stelle sich vor, daß man durch einen Schlitz in einem Kartonblatt nach der Senderantenne sehe. Dazu muß man sich natürlich erst einmal so hoch aufstellen, daß man theoretisch die Sendeantenne sehen könnte. Dann drehe man (immer noch in Gedanken) den Kartonschlitz so, daß er sich in seiner Richtung mit dem Sendedipol deckt. Damit ist zunächst Ort und Lage des Empfangsdipols grob bestimmt. Da bei diesen Wellen Reflexion und Beugung eine große Rolle spielen, muß man nun noch bei angeschlossenem Empfänger den genauen Aufstellungs-ort und diejenige Lage der Empfangsantenne bestimmen, in der sich das Lautstärkemaximum ergibt. In dieser Lage wird dann die Antenne montiert. Bei der Montage arbeitet man zweckmäßigerweise mit einem Helfer, der einem durch Zuruf oder über eine tragbare Sprech- oder Telefonanlage (z. B. von Fuba, Hirschmann od. a.) das Lautstärkemaximum des Empfängers angibt, wenn man am Montageort keinen tragbaren (Meß-)Empfänger anwenden kann.

Für alle Antennenarten und alle Wellenbereiche gilt übrigens, daß man bei der Montage darauf achten soll, möglichst weit von Regenrinnen, Masten, Seilen und vorhandenen Antennen abzu-bleiben, deren Lage zu unerwünschter Kopplung mit der zu er-richtenden Antenne führen kann.

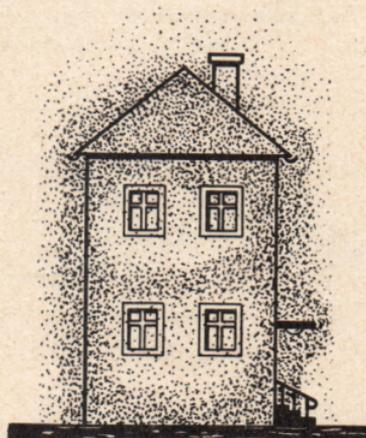
Auch die Beachtung der behördlichen Vorschriften (siehe Kap. 14), architektonische Gesichtspunkte und die Wünsche des

Hausbesitzers, ferner die Frage, ob eine abgeschirmte Ableitung erforderlich ist, sind wichtige Punkte der Antennenplanung, die unbedingt überlegt werden sollten, bevor man auf das Dach steigt. Alle diese Sorgen erspart natürlich die Innenantenne – dafür sind die verfügbaren Antennenspannungen entsprechend gering, wie wir aus Bild 28 erkennen können.

## 6. Störeinflüsse und ihre Behebung [9]

Man mag eine Antenne noch so hoch und frei aufstellen – immer muß man mit ihrer Ableitung in das Innere eines Hauses, das meistens mit einem Gewirr von Eisenträgern, von Gas-, Wasser- und Heizungsrohren, von Lichtnetz- und Fernmeldeleitungen durchzogen ist. Alle diese metallischen Gebilde aber können Träger elektrischer Störungen sein und sind es meist auch, Störungen, die von kleinen Funken beim Betrieb aller möglichen elektrischen Geräte herrühren und meist ein über alle Wellenbereiche streuendes Frequenzspektrum aufweisen (vgl. RPB 59). Sie verbreiten im und um das Haus den sogenannten Störnebel (**Bild 29**). Bei geerdeten Blechdächern, die sich in der

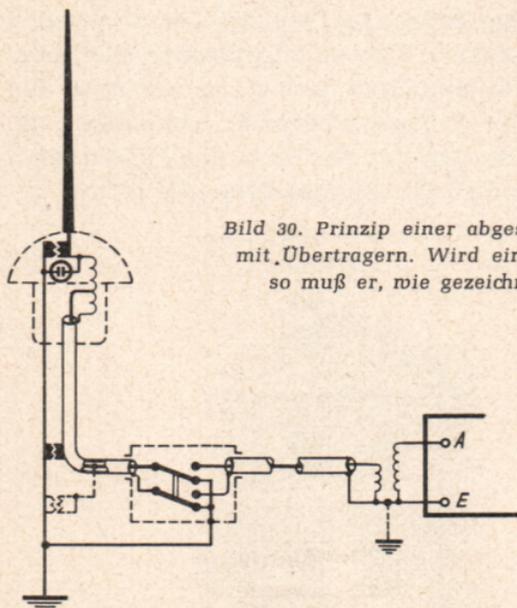
Bild 29.  
Störnebel um ein Haus



Antennenliteratur einer liebevollen Berücksichtigung erfreuen – obgleich sie eine Ausnahme darstellen –, fällt der in Bild 29 gezeichnete Störnebelanteil über dem Dach natürlich fort. Um die Störungen nun von der Antennenableitung abzuhalten, schirmt man diese ab. Das hierzu verwendete Abschirmkabel verfügt jedoch über eine beträchtliche Kapazität, die immer unerwünscht ist. Deshalb und aus Anpassungsgründen (Wellenwiderstand) verwendet man zwischen Antenne und Kabel einerseits, wie Kabel und Empfänger andererseits, *Anpassungsübertrager*, welche nach Formel (29) die hochohmigen Antennen- und Emp-

fängereingangswiderstände von einigen Kiloohm an den niederohmigen Wellenwiderstand dünner Kabel (z. B.  $60 \Omega$ ) anpassen und gleichzeitig eine Kapazitätstransformation bewirken.

**Bild 30** zeigt die Prinzipschaltung einer Anlage mit Anpassungsübertragern, Grobfunkstrecken und Überspannungsableiter. Berechnung und Selbstbau solcher Übertrager setzen große Erfahrungen voraus – man bezieht sie deshalb besser und bil-



*Bild 30. Prinzip einer abgeschirmten Antennenableitung mit Übertragern. Wird ein Erdungsschalter vorgesehen, so muß er, wie gezeichnet, zweipolig abschalten*

liger von den Firmen, die Bausätze für abgeschirmte Antennenanlagen herstellen. Um bei solchen Anlagen auch einen guten Kurzwellenempfang zu ermöglichen, legt man häufig eine Kurzwellendrossel in die Verbindung zwischen Kabelmantel und Erdungsbuchse des Empfängers. Damit wird erreicht, daß bei Kurzwellenempfang der Kabelmantel über die Kabelkapazität mit als Antenne wirkt.

Die Wirksamkeit der abgeschirmten Ableitung wird zweckmäßig dadurch unterstützt, daß der Netzeingang des Gerätes verdrösselt und abgeblockt wird, um auch den aus dem Netz selbst kommenden Störungen den Eintritt in den Empfänger zu verwehren.

Auch bei Autoantennen werden abgeschirmte Leitungen zum Empfänger bevorzugt. Hier muß außerdem das Zündleitungsnetz durch Dämpfungswiderstände vor den Zündkerzen und Beschaltung des Unterbrecherkreises entstört werden (vgl. RPB 59).

Selbst Rahmenantennen – besonders solche für Peilzwecke – und Ferrit-Antennen werden gern (statisch) abgeschirmt.

Mitunter zeigt aber selbst eine einwandfreie Abschirmung nicht die gewünschte Wirkung, weil die Erdungsverhältnisse schlecht sind. So können die vorhandenen Erdleitungen selbst störungsverseucht und die Herstellung einer einwandfreien Erdung mit erheblichen Kosten verknüpft sein.

In allen solchen Fällen, in denen die vorhandenen Erden unbrauchbar sind, wendet man ein Gegengewicht an. Dieses besteht aus Drahtleitungen von gleichen bis doppelt so großen Abmessungen wie die Antenne, die gut isoliert in möglichst großem Abstand von der Antenne (für hohe Antennenspannung) und von der Erde (für gute Störfreiung) angebracht werden. Bei einer Zimmerantenne genügt erfahrungsgemäß ein ringsherum an die Scheuerleiste genagelter isolierter Draht als Gegengewicht, während man bei Hochantennen mit abgeschirmter Ableitung auch den Kabelmantel dafür benutzen kann. Läßt man den Erdanschluß frei, so wirkt bei Wechselstromgeräten auch das Chassis als – allerdings recht kleines – Gegengewicht.

Wo die Störungen einwandfrei nur von der Antenne aufgenommen werden, helfen mitunter Kompensationsschaltungen, wie z. B. die vor dem Kriege vielverwendete *Görler*-Antenne, und notfalls eine Verlagerung der Antenne. UKW- und Fernseh-Dachantennen, die Zündstörungen vom Straßenverkehr aufnehmen, können durch Aufstockung zu 2- bzw. 4-Ebenen-Antennen eine schärfere vertikale Bündelung erhalten (vgl. Kapitel 10).

## 7. Leitungs- und Filtertechnik

Die zunehmende Inanspruchnahme sehr kurzer Wellen, deren Längen in der gleichen Größenordnung wie die normalerweise benötigten Leitungslängen liegen, für Rundfunk und Fernsehen brachte es mit sich, daß sich der Praktiker mehr als früher um das elektrische Verhalten der Antennenzuleitungen kümmern muß. Wie **Tabelle 6** lehrt, ist das elektrische Verhalten von Leitungsstücken außer von der Betriebswellenlänge im Verhältnis zur Leitungslänge vor allem vom Leitungsabschluß, also von der Anpassung der Leitungsenden, abhängig. Kurzgeschlossene und offene Leitungsstücke, deren Länge unter Berücksichtigung des Verkürzungsfaktors  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge entsprechen, haben Schwingkreiseigenschaften und können daher in schmalbandigen Mikrowellenordnungen unmittelbar als Filterbauelemente angewandt werden.

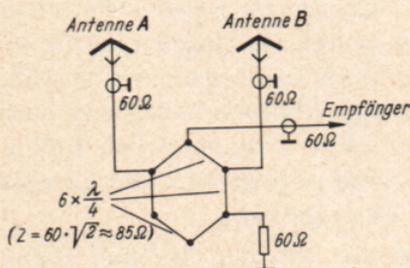


Bild 31. Ringgabelweiche aus  $\lambda/4$ -Leitungen zur Entkopplung zweier, an einem Empfänger liegenden Antennen für benachbarte UHF-Kanäle

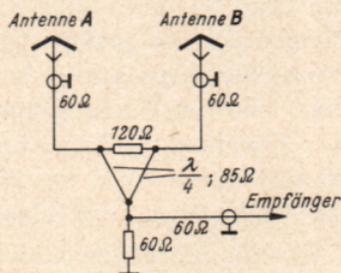


Bild 32. Vereinfachte Ringgabelweiche

Im Gegensatz zur Anfangszeit des Rundfunks betreibt heute jeder Haushalt Rundfunkgeräte für mindestens zwei, meistens vier Wellenbereiche und Fernsehempfänger für den Empfang mehrerer Programme in den Bereichen I, III und IV/V. Der Wunsch, die Antennenspannungen aus den verschiedenen Frequenzbereichen über eine gemeinsame Antennenzuleitung zum Empfänger zu bringen, hat zu einer ausgefeilten Filtertechnik geführt. Die in **Tabelle 7** aufgeführten Filter und die aus ihnen zusammengestellten Weichen sorgen antennen- wie empfänger-

Tabelle 6. Verhalten von Leitungsstücken (Daten handelsüblicher Leitungen siehe Tabelle 22)

Zustand des ungespeisten Leitungsendes	Verhalten bei nicht resonierenden Längen	Verhalten bei Längen von (Verkürzungsfaktor $x...$ ):	
		$1/2, 1/1, 3/2... \lambda$	$1/4, 3/4, 5/4... \lambda$
offen (Leerlauf)	$< \lambda/4$ und $> \lambda/2$ kapazitiv $> \lambda/4$ bis $< \lambda/2$ induktiv	hochohmig wie Parallelschwingkreis (Sperrkreis); an beiden Enden Stromminimum und Spannungsmaximum	niederohmig wie Saugkreis; Eingang: Strommaximum und Spgs.-Minimum; Ende: Stromminimum und Spgs.-Maximum
kurzgeschlossen (Strommaximum verlangt gute Kontakte!)	$< \lambda/4$ und $> \lambda/2$ induktiv $> \lambda/4$ bis $< \lambda/2$ kapazitiv L: $1/8, 5/8... \lambda$ C: $3/8, 7/8... \lambda$	niederohmig wie Saugkreis; an beiden Enden Strommaximum und Spannungsminimum	hochohmig wie Sperrkreis (Isolator). Eingang: Stromminimum, Spannungsmaximum Ende: Strommaximum, Spannungsminimum
Abschluß mit Blindwiderstand (L, C)	[Abstimmung bzw. Kompensation durch andere Blindwiderstände, die an berechenbaren Stellen (Kreisdiagramm) angeordnet werden]	Bei Resonanz erscheint der Blindwiderstand am Ende in gleicher Größe am Eingang	Eine Induktivität am einen Leitungsende bewirkt einen kapazitiven Blindwiderstand am anderen, und umgekehrt
Ohmscher Abschluß $R \neq Z$	Überlagerung von stehenden und fortschreitenden Wellen, meßbar als Wellenverhältnis bzw. Welligkeit s	als Parallelkreis zur Wellenwiderstandstransformation in Symmetriegliedern, z. B. von 60 auf 240 $\Omega$ mit 120- $\Omega$ -Leitung	als Resonanz-Wellenwiderstands-Transformator $R_E = Z^2/R_A$ ; Bandbreite aus: $f_{\min}$ $f_{\max} = f_0^2$ . Durch Blindwiderstand abstimmbar
Ohmscher Abschluß mit Wellenwiderstand $R = Z$	Leitung wirkt wie ohmscher Widerstand, ohne Reflexionen an den Leitungsenden, unabhängig von der Leitungslänge		
Resonanzerscheinungen		auch bei geradzahligen Oberschwingungen (Harmonischen)	auch bei ungeradzahligen Oberschwingungen (Harmonischen)
Resonanztransformation		1 : 1 ohne Phasendrehung	mit 180° Phasendrehung

seitig für eine saubere Trennung der Empfangsbereiche. Besonders schwierig ist die Trennung benachbarter Kanäle innerhalb eines gemeinsamen Frequenzbereiches mit herkömmlichen L/C-Filtern. Hier helfen Ringgabelweichen, die aus der drahtgebundenen Nachrichtentechnik bekannt sind, für Antennenanlagen jedoch aus Leitungsstücken nach **Bild 31** oder **32** bzw. für längere Wellen (mit unhandlich großen Leitungsstücken) aus konzentrierten Induktivitäten und Kapazitäten aufgebaut werden (**Bild 33**). Mit konzentrierten Schaltelementen pflegt man auch Filter

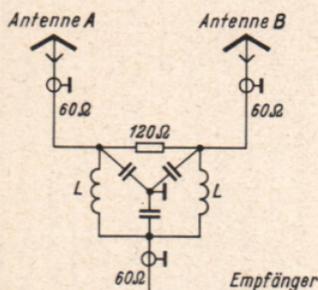


Bild 33. Ringweiche für benachbarte Kanäle im VHF- oder UKW-Bereich mit konzentrierten Schaltelementen (Fuba GW 23: Durchlaßdämpfung = 3,2 dB, Sperrdämpfung A-B = 18 dB)

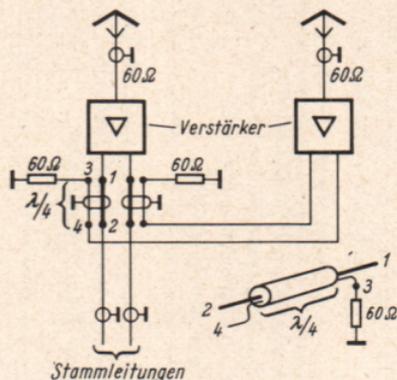
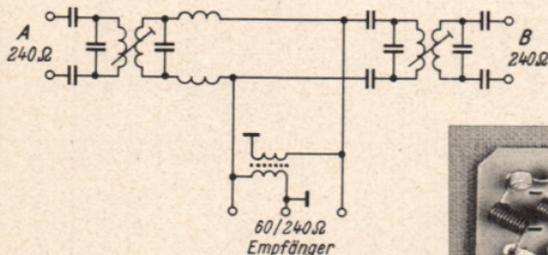


Bild 34. Zusammenschaltung zweier Antennen für benachbarte Kanäle über Richtkoppler [13] in einer Gemeinschaftsantennenanlage



Oben: Bild 35. Prinzipschaltung eines symmetrischen Kombinationsfilters (Frequenzweiche)

Rechts: Bild 36. Aufbau eines symmetrischen Kombinationsfilters (Fuba)

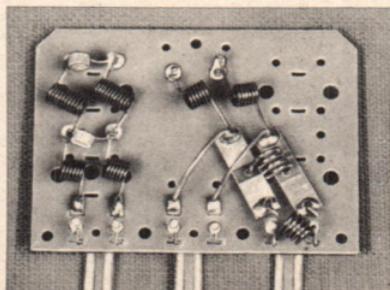
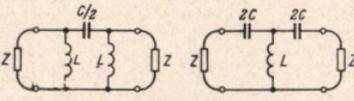
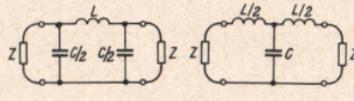
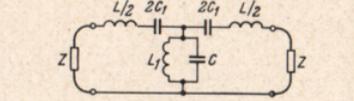
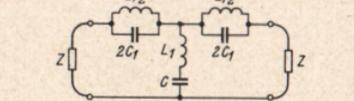


Tabelle 7. Die wichtigsten Filterarten ( $Z = \text{Wellenwiderstand in } \Omega$ ); Berechnung nach [12]

Art	Bild	Berechnung
<b>Hochpaß</b> (läßt Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz $f$ passieren)	 <p style="text-align: center;">Bild 37</p>	$C = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot Z}$ $L = \frac{Z}{4 \cdot \pi \cdot f}$ $Z = \sqrt{L/C}$ $f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$
<b>Tiefpaß</b> (läßt Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz $f$ passieren)	 <p style="text-align: center;">Bild 38</p>	$C = \frac{1}{\pi \cdot f \cdot Z}$ $L = \frac{Z}{\pi \cdot f}$ $Z = \sqrt{L/C}$ $f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$
<b>Bandpaß</b> (läßt nur Frequenzen zwischen den Grenzfrequenzen $f_1$ und $f_2$ bzw. $\omega_1$ und $\omega_2$ [ $\omega = 2 \pi f$ ] passieren)	 <p style="text-align: center;">Bild 39</p>	$C = \frac{2}{Z \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$ $L = \frac{2 \cdot Z}{\omega_2 - \omega_1}$ $C_1 = \frac{1}{L \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$ $L_1 = \frac{1}{C \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$
<b>Bandsperre</b> (läßt keine Frequenzen zwischen den Grenzfrequenzen $f_1$ und $f_2$ bzw. $\omega_1$ und $\omega_2$ [ $\omega = 2 \pi f$ ] passieren)	 <p style="text-align: center;">Bild 40</p>	$C = \frac{1}{L_1 \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$ $L = \frac{1}{C_1 \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$ $C_1 = \frac{1}{2 \cdot Z \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$ $L_1 = \frac{Z}{2 \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$

und Weichen für größere Bandbreiten aufzubauen, beispielsweise in Schaltung und Aufbau, wie in **Bild 35** bzw. **36** gezeigt. Solche Filter und Weichen werden vorzugsweise für Ultrakurzwellen und Dezimeterwellen benötigt und eignen sich daher, d. h. wegen der bei diesen Frequenzen sehr einflußreichen Zufälligkeiten des Aufbaus, nicht zum Selbstbau. Auch ihre industriell gefertigten Ausführungen müssen Stück für Stück mit erheblichen Meßmitteln abgeglichen werden, um ihre Aufgabe erfüllen zu können.

# FERNSEHANTENNEN

## 8. Zur Physik der Fernsehantennen

Fernsehantennen sind – wie Schwingkreise – abgestimmte Gebilde, die ihre Aufgaben als ‚Empfangssonden‘ im Senderfeld nur dann befriedigend erfüllen können, wenn man bei ihrer Auswahl und Errichtung einige wichtige Gesichtspunkte beachtet. Bevor wir uns mit den verschiedenen Antennenarten und Ausführungsformen beschäftigen, wollen wir uns erst einmal ansehen, welche Besonderheiten Fernsehantennen gegenüber den AM- und den UKW-FM-Antennen aufweisen.

### a) Besonderheiten der Fernsehantennen

Beim Empfang der klassischen Wellenbereiche (Kurz-, Mittel- und Langwellen) konnte praktisch jedes einigermaßen gut von der Erde isolierte metallische Gebilde als Antenne benutzt werden, wenn es nur eine nennenswerte Kapazität aufwies. Die relativ großen Wellenlängen ließen Antennen, die bereits durch ihre Abmessungen auf die zu empfangenden Wellen abgestimmt waren, nur für kommerzielle Zwecke und in der Praxis der Kurzwellenamateure zu. Die Abstimmung erfolgte in der Eingangsschaltung des Empfängers, soweit sie überhaupt wegen einer unzureichenden Empfängerempfindlichkeit notwendig erschien.

Bei der Einführung des UKW-FM-Rundfunks mußten wir bereits umlernen. Denn hier ist eine empfängerseitige Abstimmung der Antenne in der Regel witzlos, weil nämlich schon die Zuleitung von der Antenne zum Empfänger eine Länge von einigen Wellenlängen erreicht, die zur Erzielung einer verlustarmen Energieübertragung nach den Gesetzen der Leitungstheorie einen beiderseitigen Abschluß mit dem Wellenwiderstand voraussetzt. Diese Bedingung war zudem für eine relativ große Bandbreite (86 bis 100 MHz) zu erfüllen. Aus diesen Gründen mußten für den UKW-Empfang erstmals Antennen geschaffen werden, die bereits durch ihre Abmessungen auf die Mitte eines breiten Frequenzbandes abgestimmt waren.

Wie kritisch die Anpassung und die Antennenabmessungen im UKW-Gebiet sein können, lernten viele Fachleute in den ersten

Jahren des UKW-Rundfunks kennen, als der Über-Sichtweitenempfang noch die Regel war. Mit zunehmendem Ausbau des UKW-Sendernetzes geriet das Antennenproblem in gutversorgten, ebenen oder nur schwachhügeligen Bezirken wieder etwas in den Hintergrund. Und viele meinten, das werde wohl auch bei den Fernsehantennen so kommen.

Das Gegenteil aber ist der Fall. Wir werden sehen, daß selbst in gutversorgten Bezirken noch Richtantennen erforderlich sind, um Laufzeitverzerrungen auszublenden, die sich beim Fernsehempfang als „Plastik“ oder „Geister“ im Bild störend bemerkbar machen. Denn das Auge ist gegenüber Bildstörungen kritischer als das Ohr gegenüber Klangverzerrungen.

### *Laufzeitverzerrungen*

Unter Laufzeitverzerrungen verstehen wir in diesem Zusammenhang – nicht ganz korrekt – Bildverzerrungen, die als Folge von Laufzeitunterschieden eines Signals auf verschiedenen langen Übertragungswegen auftreten. Auf dem langen Wege, den die Bildmodulation von der Aufnahmekamera bis zum Bildschirm zurücklegen muß, gibt es eine Anzahl Möglichkeiten, die solche Laufzeitdifferenzen verursachen können. Uns interessieren im Zusammenhang mit Antennenfragen nur zwei Fälle:

1. die Aufnahme eines direkten und eines reflektierten Wellenzuges in der Antenne und
2. die mehrfache Reflexion eines Signals an den Enden einer beiderseits fehlangepaßten Leitung zwischen Antenne und Empfänger.

In beiden Fällen ist die Auswirkung auf das Bild gleichartig: das reflektierte Signal trifft später als das direkt ankommende ein und wird in einem der Laufzeit entsprechenden Abstand auf dem Bildschirm sichtbar, solange seine Amplitude noch 1...10% oder mehr des ursprünglichen Signals beträgt.

Eine sehr kurze Laufzeitdifferenz macht sich nur als Unschärfe der Konturen bemerkbar. Ein reliefartiges Bild erhält man meist bei fehlangepaßten Leitungen. Wenn das reflektierte Signal beispielsweise 60 m Umweg zurückzulegen hat, erscheint es mit 0,2  $\mu$ sec Verzögerung, d. h. in etwa 1,2 mm Abstand vom ursprünglichen Signal auf einem 30 cm breiten Schirm („Plastik“). Nach der zweiten oder dritten Reflexion ist es oft schon durch

die Leitungsdämpfung so weit geschwächt, daß es im Bild nicht mehr erkennbar ist.

Die bei Fernsehantennen unerläßlichen Anpassungsmaßnahmen dienen also nicht allein der besseren Energieausnutzung, sondern in besonderem Maße der Vermeidung von Laufzeitverzerrungen.

Gleiches gilt für die Verschärfung der Bündelung und die Erhöhung des Vor-/Rück-Verhältnisses. Denn beide Maßnahmen dienen auch der Ausblendung unerwünschter reflektierter Wellenzüge. Auch hier genügt bereits ein Wegunterschied von z. B. 30...60 m, um „Plastik“ hervorzurufen. Häufiger sind Umwege in der Größenordnung von z. B.  $\frac{3}{4}$  km, wobei die reflektierten Wellenzüge mit 2,5  $\mu$ sec Verspätung eintreffen und dann auf dem Bildschirm in ca. 2 cm Abstand vom ersten Signal eine zweite Kontur aufbauen („Geister“).

Wir können folglich als erste Forderung an Fernsehantennen die Ausschaltung von Laufzeitverzerrungen ansehen, die durch scharfe Bündelung der Hauptempfangsrichtung und durch sorgfältige Anpassung an den Empfängereingang zu erreichen ist.

In vielen Fällen (zunehmend mit zunehmender Fernsehversorgung) wird es darauf ankommen, auch Wellen benachbarter Kanäle oder (häufiger) Störungen, die aus entgegengesetzter Richtung – also gewissermaßen von hinten – einfallen, auszuschalten. Hierfür braucht man ebenfalls Antennen mit hohem Vor-/Rück-Verhältnis, die um so schwieriger zu konstruieren sind, je mehr Kanäle sie empfangen sollen und je weniger ihre richtige Anpassung über den Gesamtbereich gewährleistet ist. Aus allen diesen Gründen werden Rundempfangsantennen (im Gegensatz zum UKW-FM-Rundfunk) in den Fernbereichen nicht verwendet, so daß wir uns an dieser Stelle nicht mit ihnen zu befassen brauchen.

### *Bandbreite*

Die zweite wesentliche Besonderheit einer Fernsehantenne ist ihre Bandbreite. Wie wir im nächsten Abschnitt noch sehen werden, hat jeder Fernsehkanal eine Bandbreite von 7 oder 8 MHz. Hierin sind der Bildkanal mit 5 MHz Breite und der frequenzmodulierte Tonkanal mit 0,1 MHz Breite enthalten. Während man den Tonkanal für ein brauchbares Signal/Stör-Verhältnis und

wegen der meist geringeren Senderleistung nicht vernachlässigen kann, stellt der Bildkanal an die volle Ausnutzbarkeit seiner Bandbreite aus Gründen der Bildqualität hohe Ansprüche. Man darf daher die Bündelung einer Einkanalantenne nur soweit treiben, wie sie die Übertragung der vollen Bandbreite von 7 bzw. 8 MHz noch sicher zuläßt. Kritisch wird dies Problem, wenn eine Richtantenne für mehrere Kanäle oder sogar für mehrere Bänder einschließlich des UKW-FM-Bereiches II dimensioniert werden soll.

### *Signal/Rausch-Verhältnis*

Eine dritte Besonderheit gegenüber vergleichbaren UKW-FM-Antennen tritt bei der Planung von Fernseh-Antennenanlagen insofern auf, als Fernsehempfänger grundsätzlich höhere Eingangsspannungen beanspruchen. Das hängt damit zusammen, daß die Bildsendung amplitudenmoduliert ist und daß wegen der größeren Bandbreite auch mit einem stärkeren Eigenrauschen zu rechnen ist. Für einen rauschfreien, kontrastreichen Bildempfang benötigt man also ein relativ höheres Signal/Rausch-Verhältnis (mindestens 30 : 1) gegenüber dem UKW-Hörrundfunk (10 : 1 und weniger). So kommt es, daß die Mindestspannung am Eingang eines Fernsehempfängers in der Größenordnung von 500  $\mu$ V liegen soll, wo beim UKW-FM-Empfänger ein Bruchteil dieses Wertes ausreicht. Für einwandfreien Fernsehempfang in den Bereichen I und III gilt im allgemeinen eine Antennenspannung von 1 mV als Sollwert; in den Bereichen IV und V rechnet man wegen des stärkeren Rauschens der Empfängereingangsschaltung mit etwa 2 mV für röhrenbestückte und 1 mV für Transistor-Eingangsstufen.

### **b) Die Fernsehbereiche**

Zur Übermittlung eines Bildes in einigermaßen befriedigender Qualität muß man es z. B. in 625 Zeilen zerlegen, von denen jede bei einem Seitenverhältnis des Bildformats von 4 : 3 etwa 700 längliche Punkte enthält. Zur flimmerfreien Wiedergabe bewegter Bilder sind ferner 25 Einzelbilder je Sekunde erforderlich, so daß wir insgesamt über 10 Millionen Punkte in der Sekunde zu übertragen haben. Diese sehr hohe Punktzahl erfordert zu ihrer einwandfreien Übermittlung eine Bandbreite von 5 MHz.

Tabelle 8. Frequenzen und Wellenlängen der Fernsehbereiche  
(Ausländische Kanalzählungen siehe Funkschau 1953, Heft 15, Seite 292)

Bereich	Kanal	Frequenzbereich MHz	Trägerfrequenzen <sup>1)</sup>		Wellenlängen (aufgerundet) m	mittlere Wellen- länge m	relative Bandbreite	
			Bild MHz	Ton MHz			Kanal	Bereich
I (6-m-Band)	(1)	(41... 47)	(41,25)	(46,75)	(7,32 ...6,38)	(6,850)	(14 ‰)	
	2	47... 54	48,25	53,75	6,38 ...5,55	5,965	14 ‰	
	3	54... 61	55,25	60,75	5,55 ...4,92	5,235	12 ‰	54 ‰
	4	61... 68	62,25	67,75	4,92 ...4,41	4,665	11 ‰	
III (1,5-m-Band)	5	174...181	175,25	180,75	1,72 ...1,66	1,690	4 ‰	
	6	181...188	182,25	187,75	1,66 ...1,59	1,625	3,8 ‰	
	7	188...195	189,25	194,75	1,59 ...1,54	1,565	3,65 ‰	
	8	195...202	196,25	201,75	1,54 ...1,49	1,515	3,5 ‰	28 ‰
	9	202...209	203,25	208,75	1,49 ...1,44	1,465	3,4 ‰	
	10	209...216	210,25	215,75	1,44 ...1,39	1,415	3,3 ‰	
	11	216...223	217,25	222,75	1,39 ...1,35	1,370	3,2 ‰	
	12	223...230	224,25	229,75	1,35 ...1,30	1,325	3,1 ‰	
IV (60-cm-Band)	21	470...478	471,25	476,75	0,638...0,495	0,5665		26 ‰
	∴	∴	∴	∴				
	37	598...606	599,25	604,75				
V (40-cm-Band)	38	606...614	607,25	612,75	0,495...0,380	0,435		27 ‰
	∴	∴	∴	∴				
	60	782...790	783,25	788,75				

1) Im Offsetbetrieb können diese Trägerfrequenzen um bis zu 10,5 kHz höher oder tiefer liegen.

Zusammen mit dem Tonkanal kommt man auf eine Gesamtkanalbreite von 7 MHz, so daß man aus wirtschaftlichen Gründen nur Trägerfrequenzen im UKW- oder Dezimetergebiet verwenden kann.

Auf Grund dieser physikalischen Zusammenhänge und in Übereinstimmung mit internationalen Vereinbarungen über die Wellenverteilung erhalten wir vier Frequenzbereiche für den Fernseh- und Rundfunk, deren Aufteilung aus **Tabelle 8** ersichtlich ist. Die deutschen Fernsehsender strahlen ihr Erstes Programm vorwiegend in den Bereichen III und I und das Zweite Programm in den Bereichen IV und V ab, während der Bereich II mit 87,5 bis 104 MHz dem UKW-FM-Rundfunk vorbehalten ist. Die zwischen den genannten Bereichen liegenden Frequenzbänder werden von verschiedenen Diensten genutzt (vgl. RPB 100, Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker).

## 9. Die Antennenarten

Die Mehrzahl aller heute bei uns gebräuchlichen Ausführungsformen von Fernsehantennen läßt sich auf den horizontal polarisierten Stab- oder Faltdipol zurückführen, wobei letzterer überwiegt, weil er seiner Natur nach breitbandig ist und sich bei mehrelementigen Ausführungen bequemer anpassen läßt. Die Dipollänge entspricht meist der halben Wellenlänge bei der (mittleren) Betriebsfrequenz, jedoch gibt es auch Fälle (breitbandige Allwellensysteme), in denen man Ganzwellendipole vorzieht.

Die Wellenlänge bestimmt also die Antennenabmessungen, die man andererseits ohne Nachteil für die Montagemöglichkeiten relativ groß machen kann, wenn die Wellenlängen der zu empfangenden Sender entsprechend klein sind. Damit hängt es auch zusammen, daß man im Dezimeterbereich sehr wirksame Antennenarten kennt, deren Abmessungen für Empfangszwecke bei Meterwellen unhandlich groß werden würden.

Auf der Senderseite kann und muß ein höherer Aufwand getrieben werden, und wir finden daher dort z. B. Schlitzantennen, die man empfangsseitig normalerweise nur bei Dezimeterwellen benutzt. Allerdings sind die Grenzen nicht starr, zumal man an den Randzonen eines Versorgungsgebietes auch auf der Empfangsseite gern zu größeren Investitionen bereit ist.

Von und neben den im ersten Teil dieses Buches besprochenen Antennenarten kommen für den Fernsehempfang in den Bereichen III bis V besonders die folgenden in Frage:

1. Halb- und Ganzwellendipole mit ihren zahlreichen Ausführungsformen, die sich nach Anpassungsart und Zahl der parasitären Elemente unterscheiden (**Bild 41** und **43**),
2. die noch dipolähnlichen, aber auf einer anderen Wirkungsweise [14] beruhenden V-Antennen. Sie werden für einzelne Kanäle oder Bänder (**Bild 42**) hergestellt oder zu Allwellenantennen ausgebaut (Bilder 22 und 77),
3. die besonders im Dezimeterbereich beliebte Winkelreflektorantenne [15] (ähnliche Form: Bild 56),
4. die senderseitig gern benutzten Schlitzantennen [16, 24] und die von ihnen abgeleitete Schmetterlingsantenne (**Bild 44**),

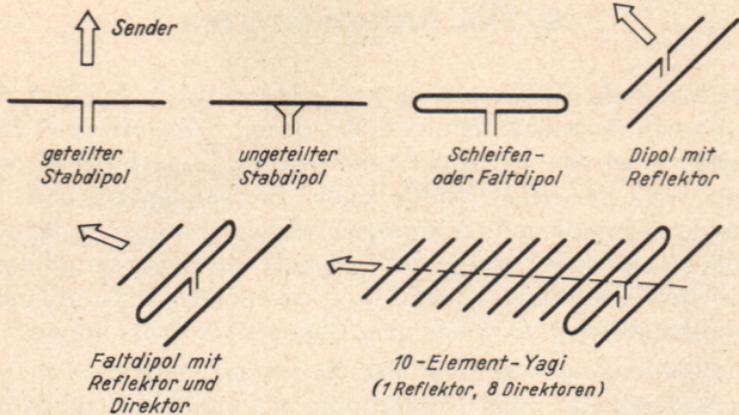


Bild 41. Die wichtigsten Ausführungsformen von Dipol-Fernsehintennen

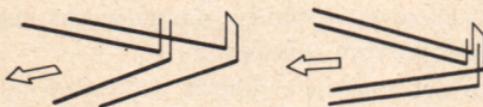


Bild 42. Zwei Grundformen von V-Antennen (die Schenkel sind oft einige Wellenlängen lang)

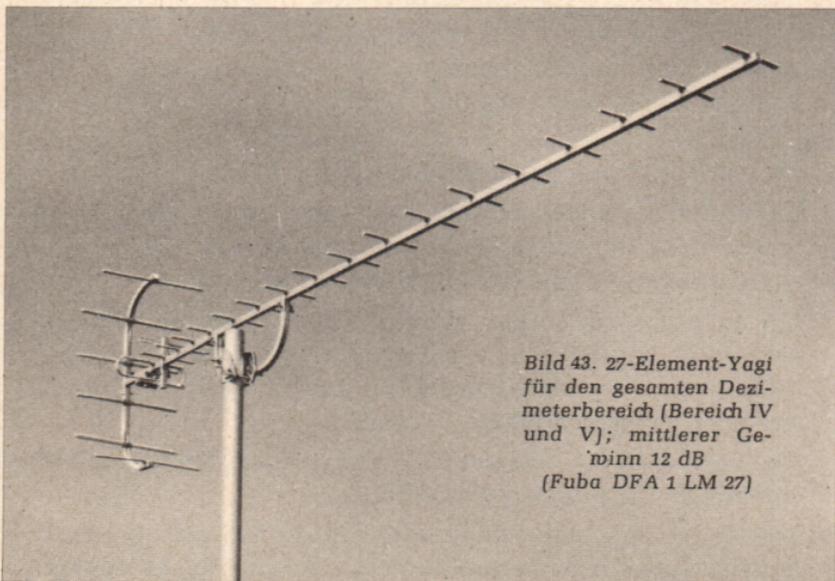


Bild 43. 27-Element-Yagi für den gesamten Dezimeterbereich (Bereich IV und V); mittlerer Gewinn 12 dB  
(Fuba DFA 1 LM 27)

5. die der V-Antenne ähnliche, aus der Hornantenne [17] entwickelte abgewandelte Hornantenne (**Bild 45**),
6. die Wendelantennen [18], von denen **Bild 46** ein Beispiel zeigt,
7. die Rhombusantenne [19], die sich mit entsprechend verkleinerten Abmessungen (**Bild 47**) auch in den Fernsehbandern verwenden läßt, und schließlich
8. die typischen Dezimeterantennen, von denen die in **Bild 48** dargestellten Konus- und Dreiecksantennen [20] besondere Beachtung verdienen.

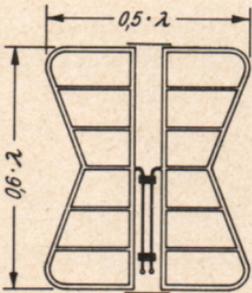


Bild 44. Schmetterlingsantenne (Helma-Viktoria)

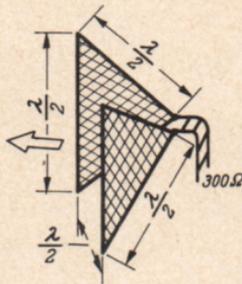


Bild 45. Abgewandelte Hornantenne

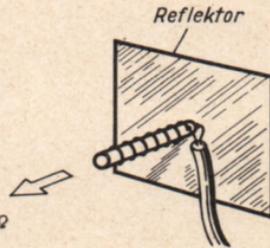


Bild 46. Ausführungsbeispiel einer Wendelantenne, bei der die Windungslänge klein gegen die Wellenlänge ist und die Drahtlänge  $62 \frac{1}{2} \%$  der Wellenlänge beträgt

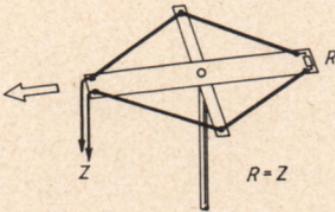


Bild 47. Die Rhombusantenne läßt sich bei sehr kurzen Wellen auf einen Mast montieren

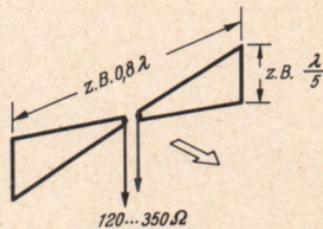
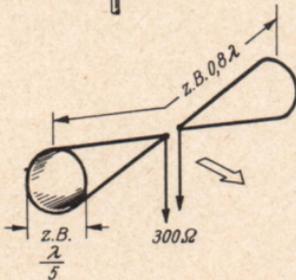


Bild 48. Zwei Dezimeter-Breitbandantennen, die sich auch für Bereich III eignen. Die rechte Form wird meist in Zweier- bis Achtergruppen vor grillartigen Reflektorränden angeordnet

Bezüglich der richtigen Bemessung der selteneren Antennenarten müssen wir auf die angegebene Literatur verweisen, um uns desto ausführlicher mit den für die Praxis bedeutsamsten Ausführungsformen, in erster Linie also den Dipolabkömmlingen, beschäftigen zu können.

## 10. Eigenschaften der Dipol-Fernsehantennen

Wenn wir auf Messen oder in Katalogen das Angebot an Fernsehantennen durchsehen, so fällt uns die Vielzahl der Ausführungsformen auf, selbst wenn wir uns nur auf die Dipolabwandlungen beschränken. Auch die innerhalb dieser Gruppe wiederkehrenden Standardformen, die mit nur geringen konstruktiven Abweichungen in äußerlich gleicher Gestalt von fast allen Antennenherstellern angeboten werden, sind noch so zahlreich, daß wir einen Schlüssel brauchen, nach dem wir für den jeweiligen Zweck die geeignetste Form herausfinden können. Da das nicht in allgemeingültiger Weise geschehen kann – einfach weil man den örtlichen Verhältnissen nicht die elektrischen Gegebenheiten ansehen kann –, wollen wir versuchen, in den folgenden Abschnitten wenigstens die wichtigsten Gesichtspunkte zur Beurteilung der verschiedenen Formen herauszuarbeiten.

### a) Die Antennenabmessungen

Bereits die Maße einer Fernsehantenne sind ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Der geübte Fachmann erkennt mit ihrer Hilfe, für welchen Frequenzbereich die Antenne konstruiert ist, ob sie breitbandig oder stark bündelnd wirkt, und für welche Zwecke sie sich besonders eignet. Geht man zunächst davon aus, daß die Länge aller Stab- und Faltdipole annähernd einer halben oder auch einer ganzen Wellenlänge entspricht (**Bild 49**), so ergibt

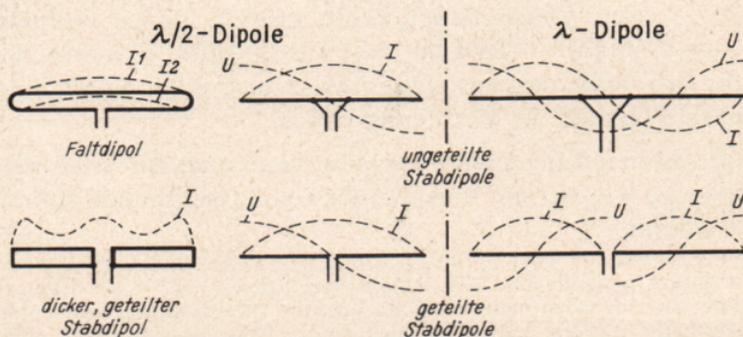


Bild 49. Strom- und Spannungsverteilung einiger Dipolformen

sich ein enger Zusammenhang zwischen Dipollänge und Fernsehband bzw. -kanal, wie er aus **Tabelle 9** zahlenmäßig hervorgeht.

Bandbreite und Richteigenschaften hängen von Zahl, Ausdehnung und Abständen der parasitären Elemente<sup>1)</sup> ab, wie in den folgenden Abschnitten noch erläutert wird. Die in Tabelle 9 ebenfalls verzeichneten Längen und Abstände der parasitären Elemente, d. h. des Reflektors (hinter dem Dipol – vom Sender aus gesehen) und der vor dem Dipol angeordneten Direktoren, sind ebenso wie ihre Abstände vom Hauptdipol nur als Beispiele zu werten. In den folgenden Abschnitten werden wir noch sehen, wieso in der Praxis z. T. nicht unerhebliche Abweichungen von den Maßen der Tabelle 9 vorkommen. *Für den Selbstbau geeignete Zahlenbeispiele für die Abmessungen von Yagi-Antennen sind in den Tabellen 19 bis 21 zu finden.*

Ähnliche Zusammenhänge zwischen den Abmessungen der Antenne und ihrer Eigenfrequenz finden wir auch bei anderen Antennenarten, wie wir schon an einigen Beispielen sahen. Unübersichtlich werden diese Zusammenhänge erst bei Einzelantennen (im Gegensatz zu Kombinationen), die für mehrere Bereiche oder für alle Wellenbereiche konstruiert sind. Auf einige solcher Allwellenantennen werden wir weiter unten noch zurückkommen.

Hier sei noch vermerkt, daß man die recht unhandlichen Abmessungen der Antennen für Bereich I dadurch verringern kann, daß man sie mechanisch verkürzt und dafür in der Dipolmitte elektrisch, z. B. durch eine Induktivität oder eine Umwegleitung, verlängert. Von dieser Möglichkeit machen einige Industrieantennen Gebrauch – **Bild 50** zeigt ein Beispiel –, während sie sich für den Selbstbau nur eignet, wenn ausreichende Meßmittel für ihren Abgleich zur Verfügung stehen.

Auch Antennen für andere Bereiche kann man auf diese Weise verkleinern, wie wir am Beispiel der Gehäuseantennen (**Bild 51**) sehen werden.

---

<sup>1)</sup> Parasitäre Elemente sind alle Gebilde, deren Abmessungen in bestimmtem Verhältnis zur Betriebsfrequenz stehen und die infolge Strahlungskopplung über Abstände, die sich nach den gewünschten Phasenverhältnissen richten, die Antenneneigenschaften beeinflussen, ohne daß sie an die Speiseleitung der Antenne angeschlossen sein müßten.

Tabelle 9. Abmessungen von Fernsehantennen mit Halbwellendipolen

Die Zahlen geben die Faktoren an, mit denen die mittlere Betriebswellenlänge zu multiplizieren ist, um die Baumaße – in der gleichen Einheit wie die Wellenlänge – zu erhalten

(Frequenzen und Wellenlängen der Kanäle siehe Tabelle 8)

Bereich	Kanal	Dipol- länge	Reflektor		1. Direktor		2. Direktor		xx)	Element- durch- messer in cm
			Länge	Abstand vom Dipol	Länge	Abstand vom Dipol	Länge	Abstand vom vori- gen Direktor		
I	2, 3, 4	0,476	0,5	0,2	0,451	0,15	—	—	—	1
I	2–4	0,481	0,585	0,06	0,467	0,115...0,15	—	—	—	1,2
III	5	0,464	0,488	0,195	0,440	0,1...0,15	0,438	0,175	0,134...0,2	0,6...1
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	12	0,464	0,488	0,195	0,442	0,095...0,15	0,438	0,175	0,134...0,2	0,6...1
III	5–12	0,483	0,535	0,198	0,4	0,092...0,105	0,39	0,115	0,125	1
IV	21	0,450	0,490	0,17	0,388	0,2	0,382	0,2	0,2	0,8
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	37	0,447	0,487	0,17	0,385	0,2	0,380	0,2	0,2	0,8
IV	7Kanäle	0,495	0,530	0,2	0,406	0,141	0,403	0,141	0,141	0,8
V	38	0,447	0,487	0,17	0,385	0,2	0,380	0,2	0,2	0,8
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	60	0,439	0,486	0,17	0,385	0,2	0,380	0,2	0,2	0,8

xx) Abstand der folgenden Direktoren vom vorangehenden Direktor. Jeder (in Richtung zum Sender) folgende Direktor soll 1 % kürzer als der vorangehende sein.

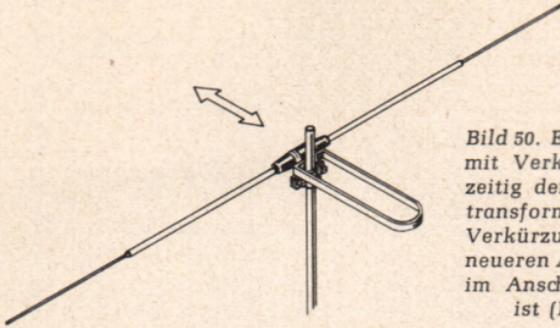


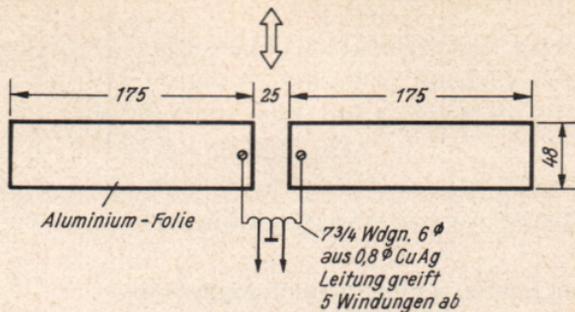
Bild 50. Einkanal-Dipol für Bereich I mit Verkürzungsbügel, der gleichzeitig den Wellenwiderstand hochtransformiert. An die Stelle des Verkürzungsbügels tritt bei einer neueren Ausführung eine Spule, die im Anschlußgehäuse untergebracht ist (Hirschmann Fesa 1100)

### b) Der Mindestaufwand für eine Fernsehantenne

Schon um überhaupt eine brauchbare Bildwiedergabe in einem noch gutversorgten Gebiet zu ermöglichen, muß eine Fernsehantenne (abgesehen von zufallsbedingten Behelfslösungen) bestimmten Ansprüchen genügen, von denen die wichtigsten die Abstimmung auf die Mitte des zu empfangenden Bandes oder Kanals und die reflexionsarme Anpassung über diesen Frequenzbereich sind, während man hier auf ausgesprochene Richtwirkung und ausgeprägtes Vor-/Rück-Verhältnis weniger Wert zu legen pflegt. Das gilt besonders für Innen- und Fensterantennen, bei denen schon die nächste Umgebung völlig unvorhersehbare Reflexionen (stehende Wellen!) und Verstimmungen der elektrischen Antenneneigenschaften verursacht. Ganz besonders gilt dies auch für die Gehäuseantennen, die von der Industrie in die Fernsehempfänger eingebaut werden, um eine Vorführung oder Erprobung ohne kostspielige Antenneninstallation zu ermöglichen.

Danach ist die primitivste Antennenform die Gehäuseantenne, die meist aus Metallfolien zusammengesetzt ist und oft mit einer Parallelinduktivität zum Ausgleich ihrer stark verkürzten Länge oder ihrer höheren Eigenkapazität ausgerüstet ist. Ein Beispiel solcher Gehäuseantennen sehen wir in **Bild 51**. Mitunter (in besser ausgestatteten Fernseh-Empfängern) ordnet man die Gehäuseantenne drehbar an, um das doch meist recht voluminöse Fernsehgerät ohne Rücksicht auf die Einfallsrichtung des Senderfeldes an der räumlich günstigsten Stelle aufstellen zu können.

Bild 51. Beispiel eines Gehäusedipols für Bereich III



Ortsbewegliche Antennen einfachen Aufbaus, die in vielen Fällen gute Dienste leisten, sind die Zimmer- und Vorführentennen, über die wir gesondert weiter unten berichten.

Einen einfachen Fensterdipol für Bereich III zeigt **Bild 52**. Für fest installierbare Innenantennen hat sich kein Standardtyp herausgebildet, wohl weil sie nur für Orte mit hohen Feldstärken in Frage kommen und gerade dort häufig ein hohes Vor-/Rück-Verhältnis wegen der in Gebäuden besonders zahlreichen Reflexionsmöglichkeiten erforderlich ist. Soweit ihre Abmessungen nicht stören, lassen sich auch die üblichen Außenantennen für Innenmontagen verwenden.

Die Polarisation, d. h. die Hauptschwingungsrichtung der Fernschwellen und damit die räumlich richtige Lage der Antennenelemente, wird von der Sendeantenne bestimmt. In der Regel

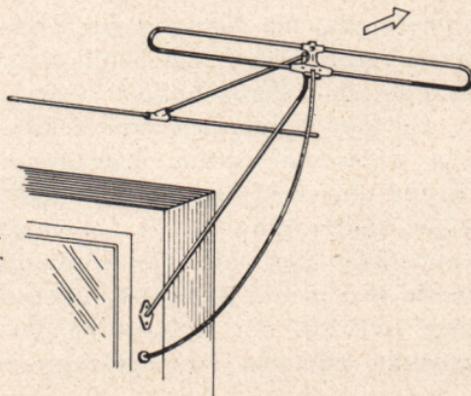


Bild 52. Breitbanddipol mit Reflektor als Fensterantenne für Bereich III (Kathrein-Univa)

wird die horizontale Polarisierung bevorzugt; nur einige Sender (vorwiegend in Bereich I) und viele Umsetzer arbeiten mit vertikaler Polarisierung. Eine vertikal polarisierte Empfangsantenne für Bereich III zeigt Bild 56. Physikalisch ergeben sich aus der Polarisierungsart keine grundlegenden Unterschiede für die praktische Antennenkonstruktion.

### c) Erhöhung des Antennengewinns

Der Antennengewinn mehrelementiger Antennen, meist definiert als Spannungsgewinn gegenüber einem einfachen Halbwellendipol und in dB angegeben, hängt innerhalb eines begrenzten Frequenzbereichs in erster Linie von der Antennenlänge, d. h. von dem Abstand zwischen Reflektor und vorderstem Direktor, ab. Im übrigen steigt der Gewinn mit zunehmender Absorptionsfläche. Die Absorptionsfläche (bei Dezimeterantennen spricht man auch von Wirkfläche [24]) beträgt bei einem einfachen Dipol  $\approx \lambda^2/8$ . Bei anderen Antennenformen ist sie mit dem Gewinn (gegenüber dem einfachen Dipol; vgl. Tabelle 10) zu multiplizieren. Bei Empfangsantennen ist die Absorptionsfläche die Fläche, durch die eine ebene Welle soviel Energie transportiert, wie die angepaßte Antenne absorbieren kann.

Da die Absorptionsfläche mit der Wellenlänge zunimmt, mit steigender Frequenz also abnimmt, verhalten sich die für den Antennengewinn maßgebenden Bezugsspannungen der Dipole in den Bereichen IV/V, III und I unter sonst vergleichbaren Umständen wie etwa 1 : 4 : 12. Das ist bei vergleichenden Betrachtungen zu berücksichtigen. Allgemein erstrebt man eine Vergrößerung des Antennengewinns zur Erhöhung des Signal/Rausch-Verhältnisses und damit zur Erzielung eines genügend kontrastreichen Fernsehbildes. Vom UKW-Rundfunk her wissen wir, daß der Spannungs- oder Leistungsgewinn einer Antenne steigt, wenn man ihr eine ausgeprägte Richtwirkung unter Verzicht auf alle nicht aus der gewünschten Senderrichtung einfallenden Felder gibt. Mit zunehmender Bündelung wächst im allgemeinen auch bei Fernsehdipolen der Antennengewinn. **Tabelle 10** und die **Bilder 53 bis 55** zeigen uns die Zusammenhänge zwischen der Ausrüstung der Antenne mit parasitären Elementen und den daraus resultierenden Spannungsgewinnen

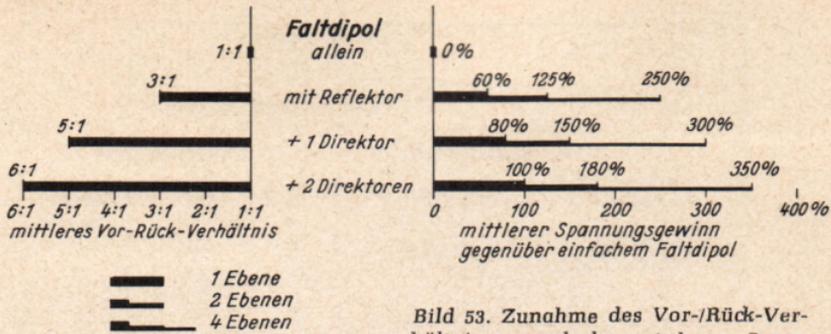
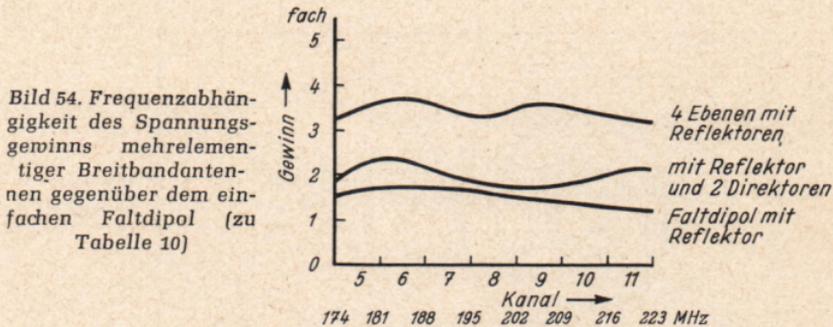


Bild 53. Zunahme des Vor-/Rück-Verhältnisses und des mittleren Spannungsgewinns mit der Zahl der Elemente (zu Tabelle 10)



und Bündelungseigenschaften. Wir ersehen hieraus, daß der Spannungsgewinn (gegenüber einem mit  $240 \Omega$  angepaßten Schleifendipol) in erster Näherung mit der Zahl der Antennenelemente und -ebenen steigt. Das gilt jedoch nur, solange die richtige Anpassung gewährleistet ist. Wie wir im Kapitel über die Anpassung noch sehen werden, ändert jedes hinzukommende parasitäre Element den Fußpunkt Widerstand der Antenne und erfordert irgendwelche Maßnahmen zur Korrektur der Wellenwiderstandsanpassung.

Aus diesem Grunde kann man nicht einfach aufs Geratewohl eine Antenne mit Zusatzelementen bepacken, sondern muß sich vorher über das Ziel einer Antennenvergrößerung klar werden. Dabei ist streng genommen ein Unterschied zwischen der Erhöhung des Gewinns, der Verbesserung der Richtwirkung und der Vergrößerung des Vor-/Rück-Verhältnisses zu machen, obwohl alle drei parallel mit zunehmender Elementzahl steigen

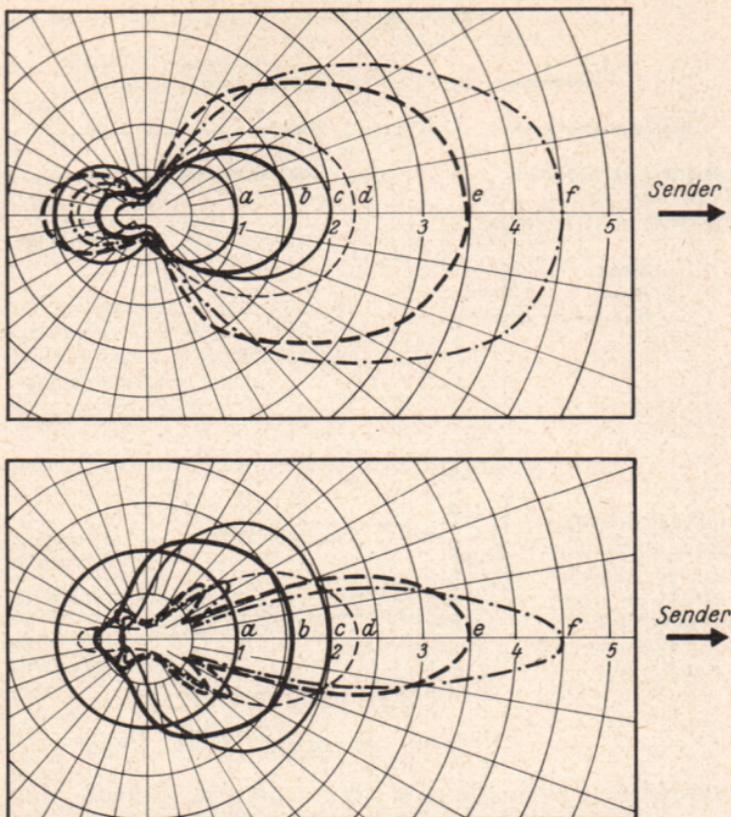


Bild 55. Horizontale (oben) und vertikale (unten) Richtdiagramme zu einigen Antennen der Tabelle 10

können. Das leuchtet sofort ein, wenn man bedenkt, daß man durch geeignete Zusammenschaltung mehrerer Rundempfangsantennen zwar den Gewinn, nicht aber die Richtwirkung erhöhen kann, während man z. B. bei einer Richtantenne durch Hinzufügen einer zweiten Ebene wohl die vertikale Bündelung erheblich verbessert, ohne jedoch am Vor-/Rück-Verhältnis viel ändern zu können.

Tabelle 10. Eigenschaften von mehrelementigen Halbwellenantennen für Bereich III

Eigenschaft	Dipol allein	mit Reflektor			m. Reflektor- wand		mit Reflektor + 1 Direktor			mit Reflektor + 2 Direktoren			mit Refl. + 3 Direktoren		Ebe- nen
	1	1	2	4	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	
Spannungsgewinn: (Bild 53, 54)	1	1,2...2	1,8...2,8	2,5...4	2,5...3,5	3,5...4,5	1,6...2	2,2...2,8	3...4	1,8...2,2	2,5...3,2	3,5...4	4	6	fach
Schmalband max.	0						6	9	12	7	10	13	12	15	dB
Breitband max.	0	2...5	4...8	6...10	8...11	11...13	4...6	7...9	10...12	5...7	8...10	11...13	8	11	dB
Öffnungswinkel: Schmalband, horiz.		45...50					45...60			55			20...40		°
Breitband, horiz.	120	70...100			etwa 60		65...95			90			30...50		°
vertikal		150	50...90	23...40	≈ 50	≈ 30	130	70	35	100	60	30	90	50	°
Kurve in Bild 55:	a	b	d	e	—	—	c	—	f	—	—	—	—	—	—
Mittl. VRV <sup>1)</sup> (Bild 53)	1 : 1	3...4 : 1			min. 8 : 1		4...6 : 1			5...7 : 1			min. 16 : 1		—
max. VRV	1 : 1	2,5 : 1...5,5 : 1					6 : 1...20 : 1			13 : 1...15 : 1					—
Bandbreite	10...35	10...25			25		10...20			5...10			5...10		%
untransformierter Fußpunktwiderstand je Ebene <sup>4)</sup>	280 ...300	60...300			60...300		32...300			20...300			20...300		Ω
Antennenlänge <sup>2)</sup> in Wellenlängen	0,015	0,2			0,2		z. B. 0,34			0,36...0,8			1,2...2,5		λ
Zahl der Elemente <sup>3)</sup> (für 1-Stab-Reflektor)	1	2	4	8	(2)	(4)	3	6	12	4	8	16	10	20	—

1) VRV = Vor-/Rück-Spannungs-Verhältnis, max. Werte gelten für Einzelantennen.

2) Vgl. S. 84.

3) 4 Kanal-Antenne mit 2 Dipolen und 2 Reflektoren;

4) je nach Abstand des 1. Direktors.

#### d) Verbesserung der Richtwirkung

Wie sich aus Tabelle 10 entnehmen läßt, ist es nicht gleichgültig, durch welche Maßnahmen die Richtwirkung in der Hauptempfangsrichtung erhöht wird. Denn während die außer einem Reflektor zusätzlich angeordneten Direktoren in erster Linie den horizontalen Öffnungswinkel<sup>1)</sup> verkleinern, wird der vertikale Öffnungswinkel vorwiegend durch die Zahl der Ebenen mit gleichen Antennengebilden beeinflusst.

Dieser Unterschied ist für die Praxis von großer Bedeutung. Muß man nämlich Störsender oder nahezu von vorn kommende reflektierte Wellen ausblenden, die nach der örtlichen Lage vermutlich waagrecht einfallen, so genügt es, die horizontale Bündelung einer Einebenenantenne durch Hinzufügen weiterer Direktoren zu erhöhen (Yagi). Fallen dagegen Zündstörungen von Kraftwagen oder reflektierte Wellenzüge schräg von unten auf eine Dachantenne, so läßt sich mit horizontaler Bündelung nur wenig erreichen und man muß dann den vertikalen Öffnungswinkel durch Anbau einer zweiten, im übrigen genau gleichen Ebene verkleinern.

Beide Bündelungsarten zusammen wird man im allgemeinen nur anwenden, wenn es gleichzeitig auf höchsten Gewinn – z. B. in der Über-Sichtweitenzone eines Versorgungsgebietes – ankommt und man sich auf den Empfang eines bestimmten Kanals beschränken kann.

Bei der horizontalen Bündelung besteht ferner ein Unterschied, ob man lediglich den Öffnungswinkel in der Hauptempfangsrichtung der Antenne verringern will, oder ob es zusätzlich auf die Erhöhung des Vor-/Rück-Verhältnisses, d. h. auf die stärkere Unterdrückung des Empfangs aus der dem Hauptstrahl entgegengesetzten Richtung ankommt<sup>2)</sup>. Dieser Fall ist dann von beson-

---

<sup>1)</sup> Der Öffnungswinkel wird von den Richtungen eingeschlossen, bei denen die Spannung nur noch 71 % der Spannung in der Hauptempfangsrichtung beträgt.

<sup>2)</sup> Das Vor-/Rück-Verhältnis gibt an, wie groß die Antennenspannung in der Hauptempfangsrichtung im Verhältnis zu der mittleren Antennenspannung beim Empfang aus der entgegengesetzten Richtung ist. Die mittlere rückwärtige Antennenspannung wird einerseits aus dem Spannungswert der größten rückwärtigen Keule (zwischen 90° und 270° der horizontalen Ebene), andererseits aus dem Spannungswert bei 180° (also genau entgegengesetzt der Hauptempfangsrichtung) gebildet.

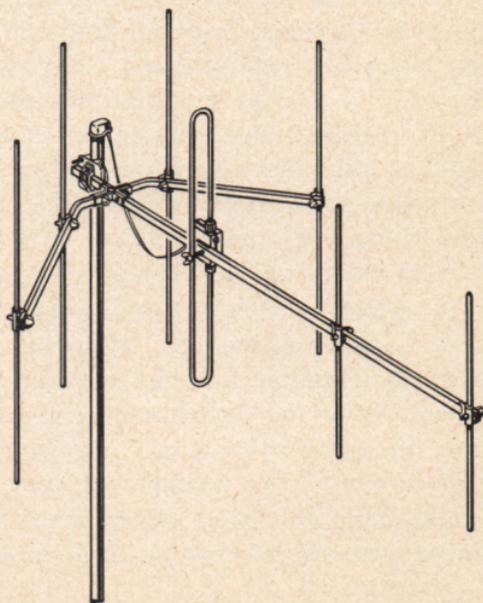
derer Bedeutung, wenn Laufzeitverzerrungen durch Wellenzüge entstehen, die von hinter der Antenne liegenden Objekten reflektiert werden. Eine viel benutzte konstruktive Maßnahme zur Erhöhung der Richtwirkung sind mehrteilige Reflektoren, z. B. wie in Bild 43 oder bei der in **Bild 56** gezeigten Antenne für vertikale Polarisation.

Diese Zusammenhänge sind schon eine Überlegung wert, weil ja mit der Zahl der Elemente und Ebenen der Preis der Antenne und die Kosten ihrer Installation nicht unerheblich ansteigen.

Je größer die von einer Antenne überdeckte Fläche (im Verhältnis zur Wellenlänge und vom Sender aus gesehen) ist, desto höher ist im allgemeinen auch ihre Richtwirkung. Als Maß für die Bündelungsgüte einer Fernsehantenne kann man die Flächenausnutzung, das ist das Verhältnis von Absorptionsfläche zu geometrischer Fläche, ansehen [24].

#### e) Erhöhung der Bandbreite

Die Maßnahmen zur Erhöhung der Richtwirkung und des Spannungsgewinns wirken sich im allgemeinen negativ auf die Bandbreite der Antenne aus; sie verringern sie also. Trotzdem besteht die Möglichkeit, relativ scharf bündelnde Antennen zu



**Bild 56.**  
7-Element-Einkanal-  
Antenne für den Empfang  
vertikal polarisierter Wel-  
len in Bereich III (Wisi  
Corner FE 10 mit 8 dB Ge-  
winn und einem Vor-/Rück-  
Verhältnis von 23,5 dB)

bauen, die einige Kanäle breit sind oder sogar einen ganzen Fernsehbereich überdecken. Als Bandbreite einer Fernsehantenne gilt derjenige Frequenzbereich, innerhalb dessen Richtcharakteristik, Gewinn und Fußpunktwidestand nur in tragbaren Grenzen von ihren Nennwerten abweichen und in dem für die antennenseitige Anpassung kein schlechteres Wellenverhältnis als 1,45 auftritt [21].

Um eine Antenne unter diesen Bedingungen mehrere Kanäle oder einen ganzen Bereich breit machen zu können, muß man um so mehr rechnen und messen, je niedriger ihre Eigenfrequenz liegen und je höher ihre Richtwirkung sein soll. Die erste Einschränkung ergibt sich bereits aus Tabelle 8, in der wir sehen, daß die relative Bandbreite der Kanäle im Bereich I mehrfach größer als im Bereich III ist. Und die zweite Einschränkung leuchtet ein, wenn man weiß, daß die relative Bandbreite einer Fernsehantenne mit der Zahl der abgestimmten Elemente (wie bei einem mehrkreisigen Bandfilter) abnimmt. Sie liegt bei einem einfachen Stab- oder Faltdipol zwischen 35 % (dicke Leiter) und 10 % (sehr dünne Leiter), bei einer dreielementigen Antenne in der Größenordnung von 15 % und kann bei einem vielelementigen Yagi bis auf 2 % sinken.

Theoretisch ist die erreichbare Bandbreite durch die Dämpfung der Antenne begrenzt [24]. Um sie zu erhöhen, muß man die Dämpfung entsprechend vergrößern, z. B. indem man dicke Strahler wählt oder aber vom Halbwelldipol zum Ganzwelldipol übergeht. Denn der in Spannungsresonanz erregte Ganzwelldipol weist eine 50 % höhere Dämpfung als der in Stromresonanz erregte Halbwelldipol auf. Im übrigen steigt die Dämpfung mit zunehmendem Wirkwiderstand und fallendem Wellenwiderstand der Antenne (vgl. Kapitel 3).

Es erfordert also gut durchdachte Maßnahmen, um die einander widersprechenden Wünsche nach Breitbandigkeit und Richteigenschaften in einer tragbaren Kompromißlösung zu vereinen. Die für den Selbstbau geeigneten Maßangaben in Tab. 19 ff und die auf Wellenlängen bezogenen Angaben der Tabelle 9 nähern sich bereits weitgehend einer solchen Kompromißlösung.

Geht man von einer gegebenen Antenne aus, so läßt sich die Bandbreite am leichtesten durch folgende Maßnahmen erhöhen

(wobei ihre Auswirkung auf die Richtcharakteristik und insbesondere den Anpassungswiderstand zu beachten ist):

1. Erhöhung des Dipolstabdurchmessers,
2. Verkleinerung des Abstandes der parasitären Elemente vom Dipol bei gegebener Antennenlänge,
3. Verringerung der Zahl der parasitären Elemente insgesamt bzw. Erhöhung ihrer Zahl bei gegebener Antennenlänge,
4. Veränderung, z. B. Verkürzung, der Direktorlänge bei Yagis.

#### **f) Einfluß der Elementabstände und -abmessungen**

Wir sehen schon, daß alle wünschenswerten Eigenschaften einer Fernsehantenne, wie Eigenfrequenz und Bandbreite, Richtwirkung, Vor-/Rück-Verhältnis und Spannungsgewinn, voneinander und von den Abmessungen der Elemente und ihren gegenseitigen Abständen abhängig sind.

Diese Abhängigkeiten haben wir in den vorangehenden Abschnitten nur von jeweils einer Eigenschaft aus betrachtet. Ihre mathematische Behandlung ist recht schwierig (bei mehrelementigen Antennen praktisch kaum durchführbar) und auch wenig sinnvoll, weil die so berechnete Antenne so gut wie nie die von der Theorie vorausgesetzte ungestörte Umgebung und eine reflexionsfreie symmetrische Ableitung vorfindet. Geht man von den in Tabelle 9 vermittelten Richtwerten aus, so erhält man Antennen, die in jedem Fall ihren Zweck erfüllen und die man nun noch nach den Angaben der letzten Abschnitte in dieser oder jener Eigenschaft verbessern kann.

Um hierfür zu einer besseren Übersicht über die grundsätzlichen Auswirkungen von Maßänderungen auf die Antenneneigenschaften zu gelangen, wurde **Tabelle 11** aufgestellt. Selbstverständlich lassen sich die Angaben dieser Tabelle nicht verallgemeinern. Sie gelten nur für Änderungen, die relativ klein gegen die Wellenlänge sind und für den Fall, daß man von den bei Industrieausführungen üblichen oder in den Tabellen 9, 19 bis 21 aufgeführten Maßen ausgeht. Diese Einschränkung beruht auf der Tatsache, daß normalerweise alle Elementabmessungen innerhalb einer Wellenlänge liegen und sich Maßänderungen wegen der nichtquasistationären Strom- und Spannungsverteilung sowie wegen der schlecht übersehbaren

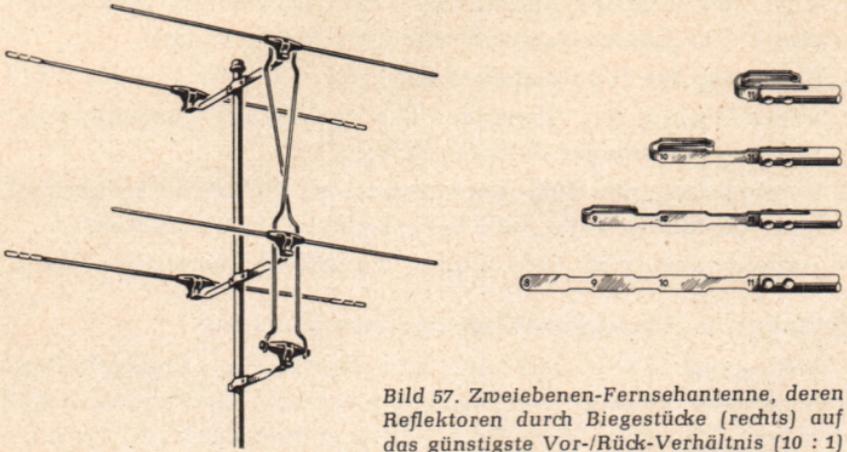


Bild 57. Zweiebenen-Fernsehantenne, deren Reflektoren durch Biegestücke (rechts) auf das günstigste Vor-/Rück-Verhältnis (10 : 1) eines Kanals abgestimmt werden können, während der Gewinn über den ganzen Bereich konstant bleibt (etwa 2,5...2,8fach) (Hirschmann D-Reihe)

Phasenverhältnisse (die Laufzeit spielt hier eine Rolle) oft mit entgegengesetztem Vorzeichen auswirken können. Trotzdem vermittelt Tabelle 11 eine gewisse Übersicht, weil sie auch erkennen läßt, bei welchen Eigenschaften und Änderungen keine eindeutigen Zusammenhänge zu erwarten sind.

Für Versuche zur Abstimmung auf bestimmte Eigenschaften eignen sich natürlich Antennen nach dem Baukastenprinzip am besten, besonders wenn auch ihre Elementlängen verstellbar sind. Eine Antennenkonstruktion, deren hauptsächliche Abmessungen für die Verwendung in Bereich III festgelegt sind, kann durch Reflektoren einstellbarer Länge nachträglich so abgeglichen werden, daß sie für einen bestimmten Kanal ein optimales Vor-/Rück-Verhältnis erhält. **Bild 57** zeigt ein Ausführungsbeispiel für diese Möglichkeit.

### g) Für die Montage wichtige Eigenschaften

Wie jedes technische Gebilde, so hat auch die Fernsehantenne um so bessere Verbreitungsaussichten, je mehr ihre Konstruktion neben der Erfüllung der elektrischen Forderungen auf die Belange der Installation und der praktischen Betriebsbedingungen Rücksicht nimmt. Was die letztgenannten Bedingungen betrifft, so brauchen wir nur einmal aufmerksam durch die

Tabelle 11. Einflüsse der Elementabmessungen bei Mehrelementantennen mit Halbwelldipolen  
(nicht allgemeingültig, siehe Text!)

Dipol				Reflektor				Direktoren						Zahl der Ebenen		Wirkung			
Leiterstärke		Leiterzahl		Anbau	Länge		Abstand		Anbau	Länge		Abstand		Zahl				gr.	kl.
gr.	kl.	gr.	kl.		gr.	kl.	gr.	kl.		gr.	kl.	gr.	kl.	gr.	kl.				
				•	(d)			•	•				•	•				erhöht	horizontale Bündelung bei horizontaler Polarisation
						d	•						•			•		verringert	
				•					(•)				(•)				•	erhöht	vertikale Bündelung bei horizontaler Polarisation
													(•)			•	verringert		
				•	•				•		•	(•)	(•)	•				erhöht	Vor-/Rück-Verhältnis
						•	•			•		(•)	(•)		•			verringert	
				•	(d)			(•)	•		(•)	(•)	(•)	•		•		erhöht	Gewinn
						d	(•)			•		(•)	(•)		(•)		•	verringert	
•				•			(•)				(•)		(•)	(•)	(•)	(•)	(•)	erhöht	Bandbreite
	•						(•)			(•)		(•)		(•)	(•)	(•)	(•)	verringert	
	(•)	•					•					•			•		•	erhöht	Fußpunktwiderstand
(•)			•	•				•	•				•	•		•		verringert	
(•)		•		•					•				•	•		•		erhöht Preis	

„Abstand“ = vom Dipol aus gemessen  
gr. = größer  
kl. = kleiner

( ) = Wirkung noch von anderen Einflüssen abhängig!  
d = bezieht sich auf die Dipollänge

Straßen zu gehen und uns den Zustand älterer Antennen anzusehen. Soweit sie nicht verbogen, abgerissen oder sonst vom Zahn der Zeit bis zur Unbrauchbarkeit zernagt sind, sieht man ihrer Färbung bereits den fortgeschrittenen Korrosionszustand an.

Es ist ein unbestreitbares Verdienst der deutschen Antennenindustrie, durch Wahl schwer korrodierender Werkstoffe (z. B. Reinaluminium) und feuchtigkeitsdichte Anschlüsse oder aber durch säure- und korrosionsfeste Überzüge Antennen hoher Lebensdauer geschaffen zu haben, die es auch jahrelang im Schornsteinrauch aushalten (die meisten Antennenmonteure haben eine unausrottbare Vorliebe für Schornsteinmontagen). Ein Beispiel für die korrosionsfeste Einkapselung der (durch Zusammentreffen verschiedener Metalle) besonders gefährdeten Anschlußstellen zeigt **Bild 58**.

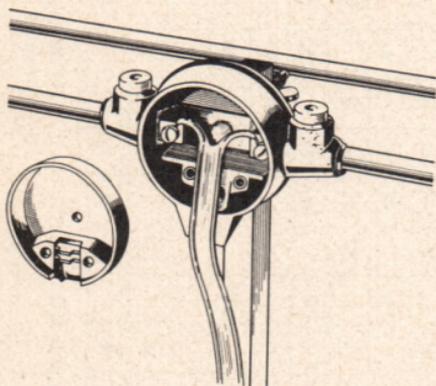


Bild 58. Wetter- und korrosionsfeste Kapselung der Anschlußstellen eines Dipols

Zum Schutz von ungekapselten oder ihrer Konstruktion nach nicht korrosionsfesten Anschlußstellen können die fertigen Kontaktstellen mit einem Kontaktschutzmittel (z. B. Hirschmann-Antenol) bestrichen werden. Eine Fernsehantenne mit korrosionsfestem Gesamtüberzug – gute Markenantennen erhalten meist Eloxal-Schutzschichten – ist in **Bild 59** wiedergegeben.

Die Dachmontage von Fernsehantennen ist um so umständlicher und zeitraubender, je mehr Elemente und Ebenen die für die betreffende Empfangssituation erforderliche Antenne haben muß. Hier liegt einer der Gründe, weshalb die meisten Fachhändler eine Dachmontage vermeiden, wo immer es angängig erscheint. Und doch ist dieser Grund keineswegs stichhaltig, denn

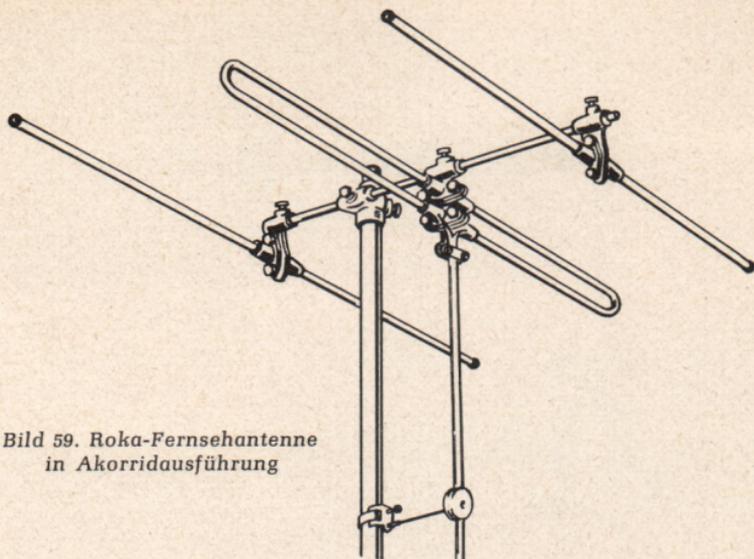


Bild 59. Roka-Fernsehantenne  
in Akorridausführung

es gibt von verschiedenen Herstellern Mehrelementantennen, die so geschickt in Baukastenform vormontiert und deren Verbindungselemente so sinnreich konstruiert sind, daß die Installation nur wenig Schwierigkeiten bereitet, selbst wenn man während der Montage die meiste Zeit nur eine Hand frei hat.

Besonders elegant sind in dieser Beziehung die Faltantennen, die in fertig montierter, aber gefalteter Form selbst durch die kleinsten Dachlücken gehen und mit wenigen Handgriffen in die Gebrauchsform gebracht werden können. Die **Bilder 60** und **61** zeigen zwei Beispiele verschiedener Hersteller.

Daß sich nicht alle Antennenformen in dieser Weise konstruieren lassen, ohne vielleicht Nachteile elektrischer Natur in Kauf nehmen zu müssen, liegt auf der Hand. Immerhin kann man sich in vielen Fällen mit solchen Faltantennen helfen, in denen man sonst einen schlechteren Ausweg (z. B. eine Fenster- oder Behelfsantenne) wählen müßte.

Die Ausrichtung der Antenne geschieht nach der gleichen Methode wie beim UKW-FM-Empfang (Kap. 5), nur daß man hier vielfach ohne Meßgerät auskommt, wenn man das Fernsehbild als Maßstab benutzen kann. Mitunter kommt man sogar ohne Helfer und Montagetelefon aus, wenn man vom Montageort

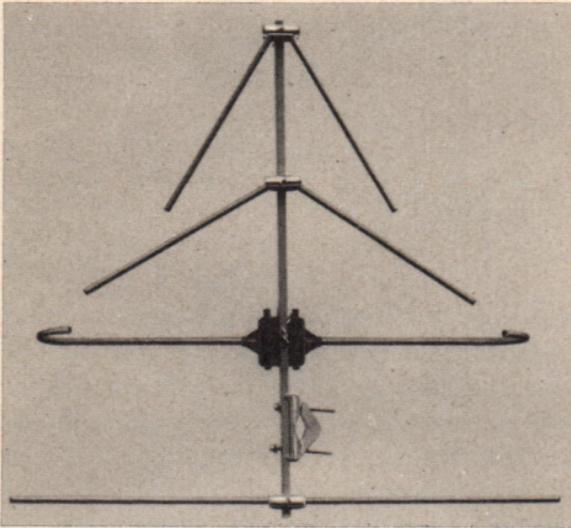
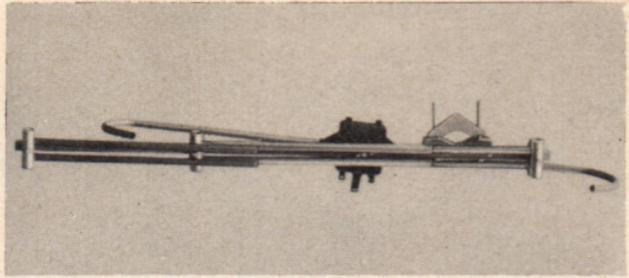
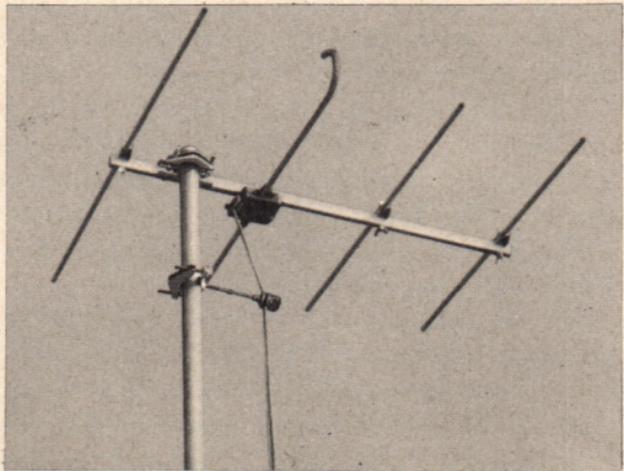


Bild 60. Fuba-Yagi mit zwei Direktoren in „Faltfix“-Bauart als Beispiel für eine Faltantenne. Die drei Teilbilder zeigen den Übergang vom gefalteten zum fertig montierten Zustand (Typ 331 mit kapazitiv angepaßtem  $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol)



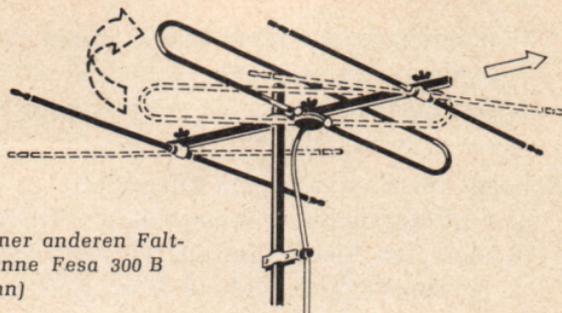


Bild 61. Ausschwengung einer anderen Faltantenne, der Clap-Antenne Fesa 300 B (Hirschmann)

der Antenne direkt oder über behelfsmäßig aufgestellte Spiegel den Bildschirm sehen kann.

Von besonderer Bedeutung ist bei Fernsehantennen auch die mechanische Festigkeit der Installation. Je mehr Elemente und Ebenen die Antenne hat, desto größer ist die Angriffsfläche für den Winddruck. Eine Antenne z. B. für Kanal 8, die im Winde um 19 cm entsprechend  $\lambda/8$  schwankt, läßt u. U. (z. B. beim Empfang reflektierter Wellen oder im inhomogenen Feld zwischen Dachaufbauten) das Bild im gleichen Takte nach Helligkeit und Kontrast schwanken (je nach Zf-Regelzeitkonstante des Empfängers).

Auch in sich (Reflektor gegenüber Dipol usw.) sollte die Antenne verwindungsfest sein. Die Erfüllung dieser Forderung erleichtert der Spannungsnullpunkt in der Mitte des durchgehenden Leiters beim Faltdipol, weil er die unisolierte Befestigung des Faltdipols am Mast an dieser Stelle ermöglicht. Diese Befestigungsart hat drei weitere Vorteile: die elegante Lösung der Blitzschutzfrage durch unmittelbare Erdung des Dipols, eine definierte Symmetrierung der Antenne und der nach VDE 0100 zu fordernde Berührungsschutz bei Isolationsmängeln des Empfängers. Ihr einziger Nachteil ist, daß die Antenne nun nicht mehr ohne weiteres als vollwertige AM-Antenne dienen kann.

#### **h) Was man nie vergessen sollte**

Nur am Rande können wir hier auf zwei Punkte hinweisen, die man bei der Errichtung von Außenantennen nicht vergessen sollte. In dem dritten Teil dieses Buches sind sie ausführlich behandelt, so daß wir sie hier nur stichwortartig zu erwähnen brauchen:

1. Genehmigung des Hauswirtes, gegebenenfalls Abschluß eines Antennenvertrages [27]. (Achtung: u. U. wird das Haus in seiner Eigenschaft als Versicherungsobjekt durch eine Antennenanlage verändert!)
2. Sorge für einwandfreien Blitzschutz:
  - a) nach der neuesten Ausgabe der VDE-Vorschrift 0855,
  - b) nach den Richtlinien des Ausschusses für Blitzableiterbau (Verlag *Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin-Wilmersdorf).

## 11. Wellenwiderstandsanpassung

Ein sehr wichtiges Problem bei allen abgestimmten Antennen der UKW- und UHF-Bereiche ist die Anpassung des Wellenwiderstandes. Für den Praktiker ist sie deswegen so schwierig, weil sich der Wellenwiderstand aus den Abmessungen der Antennenkonstruktion bzw. aus denen der Antennenleitung und ihres Dielektrikums ergibt, ohne daß man ihn mit dem Ohmmeter messen oder nach einer einfachen Regel berechnen könnte. Wir können an dieser Stelle nicht näher auf die Leitungstheorie und die Natur des Wellenwiderstandes eingehen; diese Zusammenhänge wurden oft genug in der Fachliteratur [22 u. a.] erörtert und wir müssen sie also als bekannt voraussetzen können, zumal sie auch im ersten und dritten Teil behandelt sind. Dennoch bleibt in dieser für manchen Praktiker so schwierigen Frage allerlei zu besprechen.

### a) Wellenwiderstandsanpassung innerhalb der Antenne

Während der Wellenwiderstand bei einer (angepaßten) Leitung nicht mehr von der Frequenz, sondern nur von den geometrischen Eigenschaften bzw. von der (verteilten) Induktivität und Kapazität der Leitung abhängt, ist dies bei den Fernsehantennen, mit denen wir uns hier beschäftigen, leider nicht der Fall. Hier ist der Anpassungswiderstand (meist Fußpunkt-widerstand genannt) von der Konstruktion und – weil die Antennenmaße nur für einen sehr engen Frequenzbereich gelten können – von der Frequenz abhängig. Er wird zudem von den parasitären Elementen stark beeinflußt, die mit dem Dipol strahlungsverkoppelt sind und ebenfalls frequenzabhängige Wirkungen zeigen.

Immerhin gelingt es, die Welligkeit<sup>1)</sup> – das ist das infolge der Reflexion bei Fehlanpassung auftretende Verhältnis von stehenden zu fortschreitenden Wellen (labormäßig meßbar als Verhältnis der gleichzeitig längs der Leitung feststellbaren größten zur kleinsten Hf-Spannung) – über den benötigten Frequenzbereich

---

<sup>1)</sup> Auch Welligkeitsfaktor (DIN 47301) oder Wellenverhältnis genannt (reziproker Wert  $1/s = m$  ist der Anpassungsfaktor). Der viel benutzte Ausdruck Stehwellenverhältnis ist sachlich falsch.

innerhalb geringer Grenzen zu halten, wie **Bild 62** an einem Beispiel zeigt. Eine Welligkeit  $s$  von beispielsweise 2 : 1 (verursacht z. B. durch die Fehlanpassung von 240 an 120  $\Omega$ ) bewirkt einen zusätzlichen Leistungsverlust von 11 % oder 0,5 dB. Dieser Wert ist im allgemeinen als tragbar anzusehen, vorausgesetzt, daß er auf nur einen Wellenwiderstandssprung zurückzuführen ist und folglich keine Mehrfachreflexion eines Signals mit sich bringt. Da man aber nach Lohr [8] im Durchschnitt mit einer empfängerseitigen Welligkeit von 1,6 : 1 rechnen muß, darf die Fehlanpassung auf der Antennenseite für wirklich einwandfreien Bildempfang keine größere Welligkeit als 1,45 : 1 verursachen.

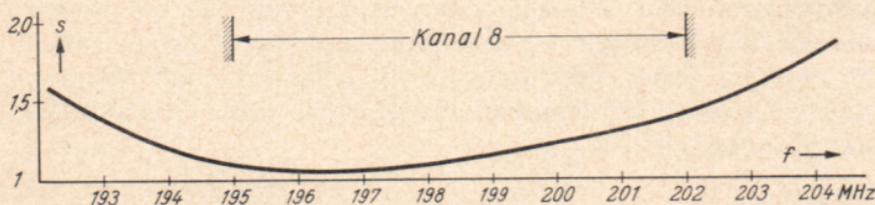


Bild 62. Frequenzabhängigkeit der Welligkeit  $s$  bei einer 13-Elementantenne für Kanal 8 mit geerdetem Spannungsnulldpunkt (Fuba FSA 591)

Bei einer einfachen Antenne ist solch ein Wert auch mühelos zu erreichen. Schwieriger wird es, wenn die Verminderung des Fußpunktwiderstandes infolge der Anbringung parasitärer Elemente (Reflektor, Direktoren) über eine bestimmte Bandbreite wieder ausgeglichen werden soll oder wenn mehrere Antennenebenen auf eine gemeinsame Ableitung arbeiten. Im ersten Fall kann man sich durch Änderung des L/C-Verhältnisses des Hauptdipols helfen (der Übergang vom Stabdipol zum Faltdipol bringt bekanntlich eine Vervierfachung des Fußpunktwiderstandes), während man im zweiten Fall innerhalb der Gesamtantenne Wellenwiderstandstransformatoren in Gestalt von Transformationsleitungen, Sperrtöpfen oder ähnlichen Gebilden verwenden muß.

97 % aller auf dem deutschen Markt befindlichen Fernsehantennen arbeiten mit Fußpunktwiderständen und Ableitungs-Wellenwiderständen von 240 oder 60  $\Omega$ , der Rest mit anderen Werten (meist 120  $\Omega$ ). Der bei UKW-FM-Antennen und in Gemeinschaftsantennenanlagen oft anzutreffende Wert von 60 bis

75  $\Omega$  bringt in den Fernseh Bereichen zu hohe Verluste und wird hier gern vermieden, zumal die Transformation höherer Fußpunkt widerstände auf niederohmige Kabel heute auch für breite Bänder und hohe Frequenzen sicher beherrscht wird.

Wir wollen auch hier versuchen, ohne mathematische Hilfsmittel die wichtigsten Einflüsse auf den Fußpunkt widerstand zusammenzufassen und die grundsätzlichen Dimensionierungsregeln für die Anpassung innerhalb zusammengesetzter Antennensysteme aufzustellen:

Zunächst müssen wir einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Halb- und Ganzwellendipolen machen, denn der in seiner Mitte angeschlossene Halbwellendipol entspricht einem Serien- oder Stromresonanzkreis und ist folglich niederohmig gegenüber dem ebenfalls in der Mitte angeschlossenen Ganzwellendipol, der sich mit einem Parallel- oder Spannungsresonanzkreis vergleichen läßt. Infolgedessen ist der Ganzwellendipol bezüglich seines Fußpunkt widerstandes auch wesentlich empfindlicher gegenüber allen äußeren Änderungen (z. B. seines Länge : Durchmesser-Verhältnisses). Daß er unter sonst gleichen Bedingungen auch stärker gedämpft ist als der Halbwellendipol, lasen wir schon im Abschnitt über die Erhöhung der Bandbreite.

Rechnungsmäßig ergibt sich ein reelles Maximum des Fußpunkt widerstandes für Schenkellängen (des Dipols), die einem ganzzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge entsprechen, während sich reelle Minima bei Dipolen einstellen, deren Schenkel ungeradzahlige Vielfache einer Viertellängenwelle lang sind. Im ersten Fall ergibt sich der maximale Fußpunkt widerstand aus dem Quotienten

$$\frac{(\text{Wellenwiderstand des Dipols})^2}{\text{Strahlungswiderstand}}$$

während im zweiten Fall der kleinste Fußpunkt widerstand dem Strahlungswiderstand (im Strombauch) entspricht.

Wir wissen ferner, daß der Fußpunkt widerstand einer üblichen Fernsehantenne mit Halbwellendipol um so stärker sinkt, je größer die Zahl ihrer parasitären Elemente wird und je kleiner deren Abstand vom Dipol ist. Innerhalb einer in sich geschlossenen Antennenebene läßt sich der Fußpunkt widerstand dann

nur durch Änderung der Dipolkonstruktion erhöhen. **Bild 63** läßt erkennen, wie der Anpassungswiderstand mit (im Verhältnis zur Wellenlänge) kleiner werdendem Stab- bzw. Rohrdurchmesser  $d$  ansteigt. Auch die entsprechend höheren Werte für einen Faltdipol mit verschiedenen starken Leitern und für einen Dreistabdipol sind aus Bild 63 zu entnehmen. Außerdem wurden die Kur-

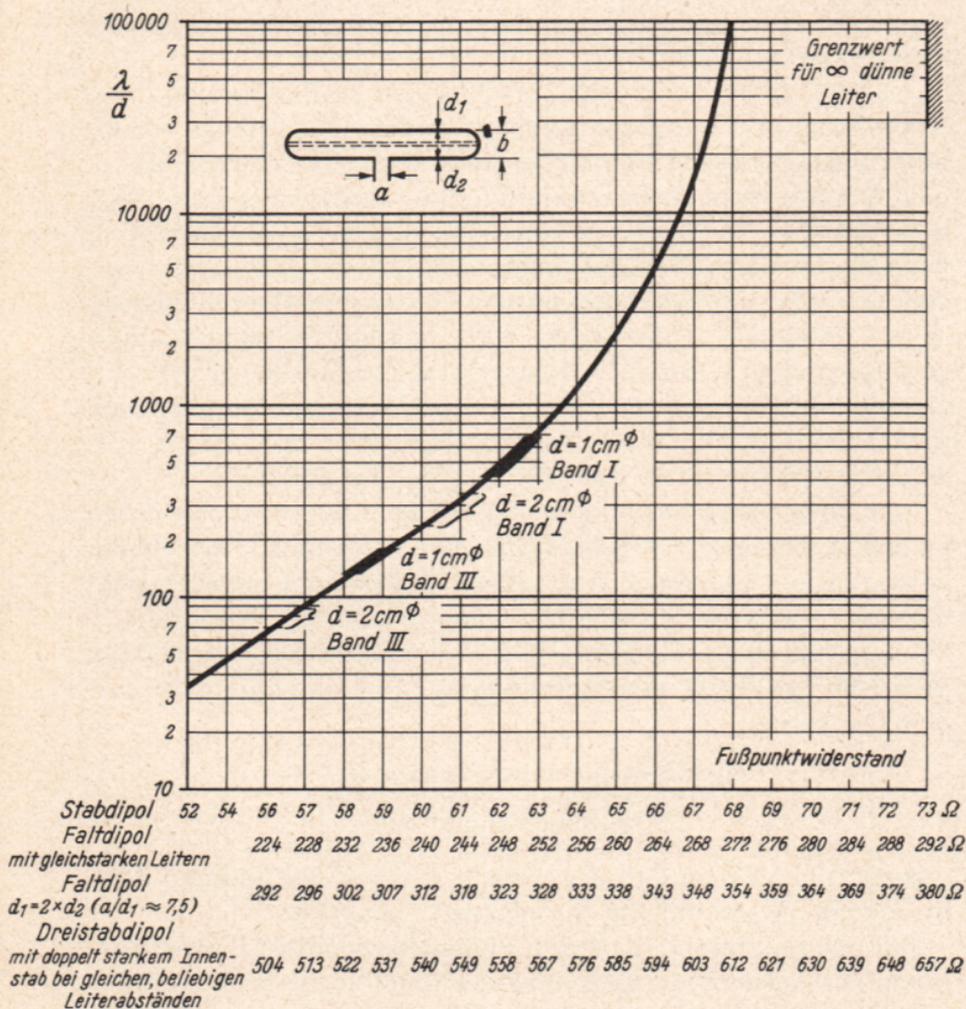


Bild 63. Abhängigkeit des Fußpunkt-widerstandes der wichtigsten Dipolformen vom Schlankheitsgrad der Leiter. Die Kurve gibt mittlere Werte mit einer größten Unsicherheit von  $\pm 3\%$  des Widerstandes an

venstücke hervorgehoben, die bei dem häufig anzutreffenden Rohrdurchmesser von 1 cm (s. a. Tabelle 9) für die Bereiche I und III gelten. Mit zunehmender Leiterstärke muß zur Aufrechterhaltung der Abstimmung die Länge des Dipols verkürzt werden, wie aus **Bild 64** hervorgeht.

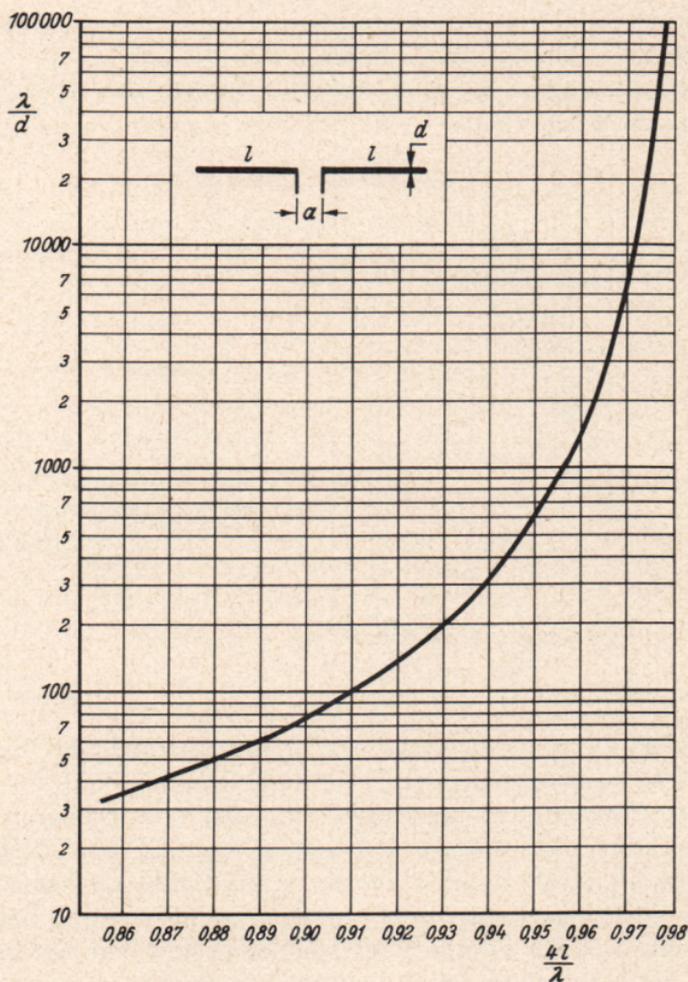


Bild 64. Verkürzungsfaktor für Halbwelldipole in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad. Die Kurve dient zur Berechnung der tatsächlichen Längen für gegebene elektrische Länge (Resonanzwellenlänge). Der Abstand  $a$  kann normalerweise vernachlässigt werden (größter Fehler:  $\pm 1\%$ )

Wie sich schließlich die zusätzlichen parasitären Elemente auf den Strahlungswiderstand eines Dipols auswirken, zeigt **Bild 65** an einem Beispiel. Auch bei der Zusammenschaltung mehrerer Ebenen gleichen Aufbaus sinkt der gemeinsame Fußpunktswiderstand, wenn die Verbindungsleitungen nicht gleichzeitig als Wellenwiderstandstransformatoren ausgebildet werden. Hier treten erfahrungsgemäß Schwierigkeiten auf (wenn man nicht vormontierte Mehrebenenantennen bezieht), weil die Länge der Transformationsleitungen mit dem Abstand der Ebenen schlecht in Einklang zu bringen ist.

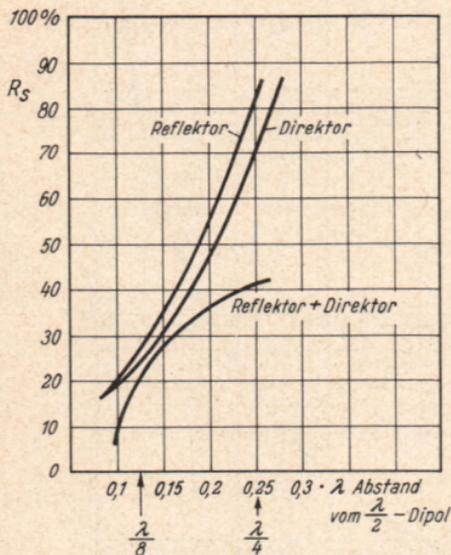


Bild 65. Beispiel für die Verringerung des Strahlungswiderstandes eines Halbwelldipols durch parasitäre Elemente. Dieses Beispiel ist nicht allgemeingültig!

Bezüglich des Leistungsgewinns ist ein Abstand der Ebenen von  $0,6...0,7 \lambda$  am günstigsten; er wächst mit der Zahl der Elemente je Ebene bis zu max. etwa  $1,2 \lambda$ . Bei noch größeren Abständen setzt eine scharfe Leistungsminderung ein. Kleinere Abstände bis hinab zu  $0,4 \lambda$  verringern ebenfalls (aber gemäßiger) den Leistungsgewinn, sind jedoch mitunter nicht zu vermeiden, wenn man bei vernünftiger Mastlänge noch ein Antennensystem für ein anderes Band unterbringen muß.

Auch der Anpassungswiderstand hat bei  $0,6...0,7 \lambda$  Ebenenabstand seinen Extremwert, der bei gleichphasiger Speisung ein Minimum, bei gegenphasiger Speisung ein Maximum ist (daher

Tabelle 12. Wellenwiderstände und Maßverhältnisse  
von  $\lambda/4$ -Transformationsleitungen

$Z_2 \backslash Z_1$	10	20	30	40	50	60	70	75	120	150	240	280	300	$\Omega$
10	10 1,2	14,1 1,27	17,3 1,35	20 1,4	22,4 1,47	24,5 1,52	26,5 1,57	27,5 1,6	35 1,8	39 1,93	49 2,3	53 2,43	55 2,5	$\Omega$ —
20	14,1 1,27	20 1,4	24,5 1,52	28 1,6	31,5 1,7	35 1,8	37,5 1,87	39 1,93	49 2,3	55 2,5	69 3,2	75 1,22	77,5 1,23	$\Omega$ —
30	17,3 1,35	24,5 1,52	30 1,65	35 1,8	39 1,93	42,5 2,05	46 2,16	47,5 2,23	60 2,75	67 3,1	85 1,27	92 1,32	95 1,33	$\Omega$ —
40	20 1,4	28 1,6	35 1,8	40 1,95	45 2,14	49 2,3	53 2,43	55 2,5	69 3,2	77,5 1,23	98 1,35	106 1,42	110 1,45	$\Omega$ —
50	22,4 1,47	31,5 1,7	39 1,93	45 2,14	50 2,3	55 2,5	59 2,7	61 2,8	77,5 1,23	86,5 1,28	110 1,45	118 1,52	123 1,56	$\Omega$ —
60	24,5 1,52	35 1,8	42,5 2,05	49 2,3	55 2,5	60 2,74	65 3	67 3,1	85 1,27	95 1,33	120 1,54	130 1,65	134 1,7	$\Omega$ —
70	26,5 1,57	37,5 1,87	46 2,16	53 2,43	59 2,7	65 3	70 1,18	72,5 1,2	92 1,32	103 1,4	130 1,65	140 1,75	145 1,82	$\Omega$ —
75	27,5 1,6	39 1,93	47,5 2,23	55 2,5	61 2,8	67 3,1	72,5 1,2	75 1,22	95 1,33	106 1,42	134 1,7	145 1,82	150 1,84	$\Omega$ —
120	35 1,8	49 2,3	60 2,75	69 3,2	77,5 1,23	85 1,27	92 1,32	95 1,33	120 1,54	134 1,7	170 2,2	184 2,45	190 2,6	$\Omega$ —
150	39 1,93	55 2,5	67 3,1	77,5 1,23	86,5 1,28	95 1,33	103 1,4	106 1,42	134 1,7	150 1,84	190 2,6	205 2,9	212 3,1	$\Omega$ —
240	49 2,3	69 3,2	85 1,27	98 1,35	110 1,45	120 1,54	130 1,65	134 1,7	170 2,2	190 2,6	240 3,8	259 4,4	268 4,7	$\Omega$ —
280	53 2,43	75 1,22	92 1,32	106 1,42	118 1,52	130 1,65	140 1,75	145 1,82	184 2,49	205 2,9	259 4,4	280 5,2	290 5,6	$\Omega$ —
300	55 2,5	77,5 1,23	95 1,33	110 1,45	123 1,56	134 1,7	145 1,82	150 1,84	190 2,6	212 3,1	268 4,7	290 5,6	300 6,1	$\Omega$ —
D/d Koax		a/d bei Paralleldrahtleitungen												

Obere Zahlen = Wellenwiderstände der Transformationsleitungen

Untere Zahlen = erforderliche Maßverhältnisse

$$\text{bei konzentrischen Leitungen} = \frac{\text{Innen-}\Phi \text{ D des Außenleiters}}{\text{Außen-}\Phi \text{ d des Innenleiters}}$$

$$\text{bei Paralleldrahtleitungen} = \frac{\text{Drahtmittenabstand } a}{\text{Leiter-}\Phi \text{ d}}$$

findet man Mehrebenenantennen mit gekreuzten und solche mit parallelen Verbindungsleitungen). Je nach den gewählten Ebenenabständen können die Verbindungsleitungen  $\lambda/2 \cdot V_k$  oder  $\lambda \cdot V_k$  Länge haben, wenn sie nicht transformieren sollen, und z. B.  $3/4 \lambda \cdot V_k$  bei einem nach **Tabelle 12** gewählten Wellenwiderstand, wenn sie transformieren sollen.  $V_k$  ist hierbei der Verkürzungsfaktor, der sich nach der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon$  der Leitungsisolation aus  $1/\sqrt{\mu \cdot \epsilon}$  ergibt ( $\mu = 1$ ) und für übliche Antennenleitungen aus den Listen der Herstellerfirmen entnommen werden kann. Sein Wert liegt meist zwischen 0,6 und 0,85.

Bei selbstgebauten Verbindungsleitungen mit Luftisolation entfällt natürlich die Berücksichtigung eines Verkürzungsfaktors

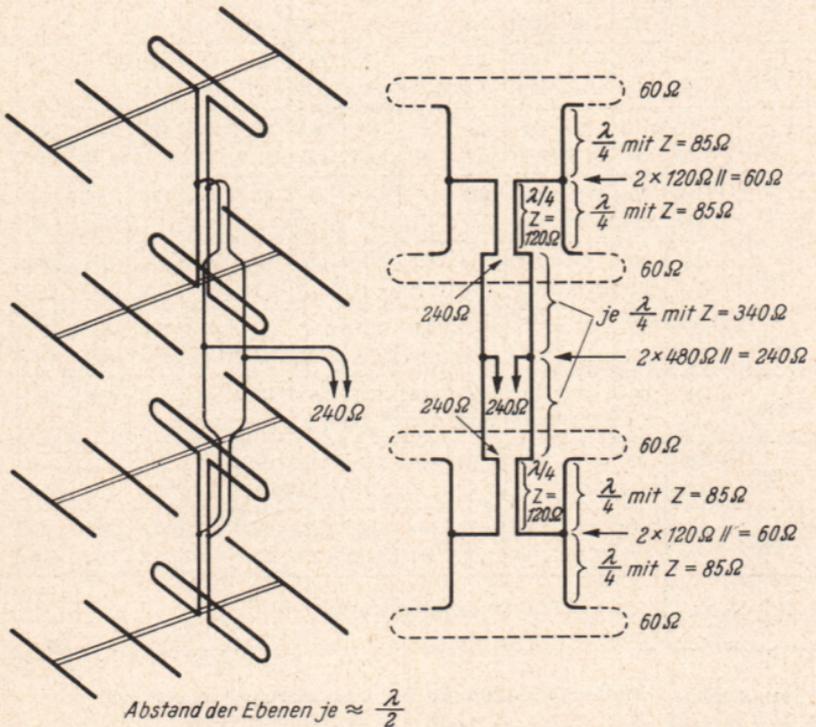


Bild 66. Schematischer Aufbau einer 4-Ebenen-Antenne mit insgesamt 16 Elementen. Rechts daneben das Anpassungsschema für  $240 \Omega$  Leitungsanpassung und  $60 \Omega$  Fußpunktwellenwiderstand je Ebene (Maße wie in Tabelle 9). Es werden drei Arten Transformationsleitungen ( $85$ ,  $120$  und  $340 \Omega$ ) benutzt; vgl. auch Bild 67 und Tabelle 12. Mechanisch zu kurze Leitungen können durch  $\lambda/2$ -Stücke verlängert werden (Breitbandzusammenschaltung, im Gegensatz zu Bild 57)

(da auch  $\varepsilon = 1$  wird). Die Leitungsabmessungen werden in diesem Fall aus den bekannten Wellenwiderstandsdiagrammen für Paralleldraht- und konzentrische Leitungen ermittelt (z. B. Funktechnische Arbeitsblätter Sk 81; s. a. Tabelle 12). Dabei sind dicke Leiter mit großen Abständen günstiger als dünne Leiter mit kleinen Abständen, weil man für sie weniger Isolatoren in größeren Abständen braucht und sich folglich Niederschläge weniger stark dämpfend auswirken können.

Aus **Bild 66** erkennt man, in welcher Form sich beispielsweise eine Mehrebenenantenne zusammensetzt.

In dem häufig vorkommenden Fall, daß Antennen für verschiedene Bereiche an einem Mast zu montieren sind, muß man ihre gegenseitige Beeinflussung auf ein unschädliches Maß verringern, indem man mindestens folgende Abstände von der Dachhaut und zwischen den einzelnen Antennensystemen einhält:

80 cm zwischen Antennen für Bereich II und III

140 cm zwischen Antennen für Bereich I und II oder III.

Die Verbindung solcher Antennenkombinationen mit einer gemeinsamen Zuleitung zum Empfänger geschieht durch Anpaßglieder und Filter, auf deren Bemessung wir an dieser Stelle nicht eingehen können, zumal sie in der Literatur [23] mehrfach erörtert wurde.

## **b) Wellenwiderstandsanpassung zwischen Antenne und Empfänger**

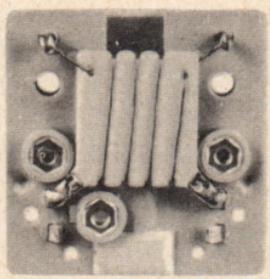
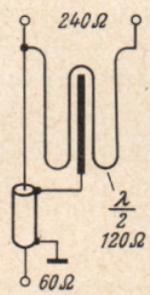
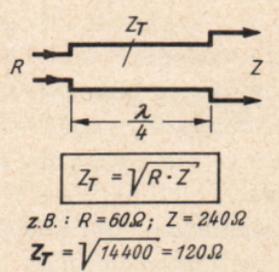
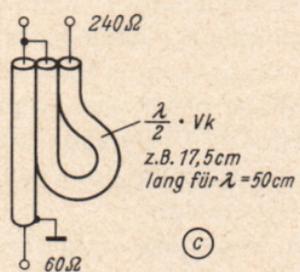
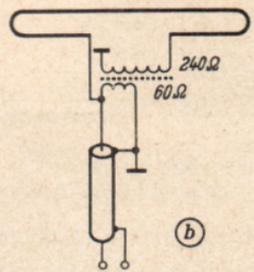
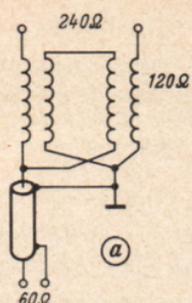
Um die Antennenspannung einer Fernsehantenne reflexionsarm bzw. ohne spürbare Verluste an den Empfänger bringen zu können, bedarf es wiederum der Anpassung zwischen Antenne und Leitung einerseits, wie Leitung und Empfänger andererseits. Der Idealfall, daß Fußpunktwiderstand der Antenne, Wellenwiderstand der Leitung und Eingangswiderstand des Empfängers den gleichen reellen Wert, z. B.  $240 \Omega$ , haben und ein symmetrisches System bilden, ist praktisch kaum anzutreffen. Auch theoretisch ist er nur für eine bestimmte Frequenz realisierbar. Meist ergeben sich geringe Fehlanpassungen mit Welligkeiten bis  $2 : 1$ , die oft als noch tragbar bezeichnet werden. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, daß der Empfängereingang für die

meisten Frequenzen seines Arbeitsbereiches kein ohmscher, sondern ein frequenzabhängiger komplexer Widerstand ist. Größere Abweichungen bedingen in jedem Fall eine Korrektur, z. B. wenn eine 60- $\Omega$ -Antenne an einen 300- $\Omega$ -Eingang angeschlossen werden soll.

Die exakte Methode für die Anpassung besteht darin, daß man zunächst für alle groben Sprünge (also z. B. 60 an 300  $\Omega$ ) Wellenwiderstandstransformatoren berechnet und einbaut und das restliche Wellenverhältnis mißt und kompensiert. Mit Hilfe von Widerstands-Kreisdiagrammen in Gaußschen Ebenen läßt sich leicht ermitteln, an welcher Stelle der Leitung (bzw. einer Stichleitung) ein nach Vorzeichen (Induktivität oder Kapazität) und Größe ablesbarer Blindwiderstand parallelgelegt werden muß, um die aus dem gemessenen Welligkeitsfaktor und der Lage der Spannungsmaxima und -minima errechnete Blindkomponente kompensieren zu können.

In der Praxis des Fernsehservice läßt sich diese exakte Methode nur in einzelnen Ausnahmefällen anwenden, so daß wir hier auf Versuche und ‚Patentlösungen‘ angewiesen sind. Die Grobanpassung sollte im Idealfall mit Exponentialleitungen vorgenommen werden, deren Wellenwiderstand sich kontinuierlich zwischen den anzupassenden Gliedern ändert. Die Länge und die umständliche Konstruktion solcher Leitungen führte jedoch dazu, daß man sich nach anderen Lösungen umsah. Wie in Kap. 18 erläutert, bevorzugt man in der UKW-Technik Transformationsleitungen von etwa  $\lambda/4$ -Wellenlänge (Tabelle 12), die als langgestreckte Bandleitungsstücke, in Gestalt von  $\lambda/4$ -Sperrtöpfen (für koaxiale Kabel) oder in aufgewickelter Form zur Wellenwiderstandsanpassung und häufig gleichzeitig zum Übergang von unsymmetrischer (z. B. 60  $\Omega$ ) auf symmetrische Leitung (z. B. 240  $\Omega$ ) und umgekehrt dienen. Die in der Fernsehantennen-Praxis bis zu den Dezimeterbereichen gebräuchlichsten Anpassungs- und Symmetriermittel zeigt **Bild 67**.

Beim Fernsehempfang, wo man die Verstärkung oder die Minderung der „Plastik“ infolge von Änderungen der Leitungsanpassung sichtbar verfolgen kann, lohnt sich immer ein Versuch mit einem kapazitiven Schieber, der aus dünnem Blech nach **Bild 68** schnell zusammengebogen werden kann. Er wird – ohne



(siehe auch Tabelle 12)

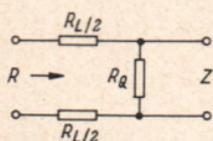
Bild 67. Einige gebräuchliche Anpassungs- und Symmetriermittel. a) Breitband-Symmetrierübertrager aus aufgewickelten  $\lambda/2$ - $120 \Omega$ -Bandleitungen oder entsprechend bemessenen Spulen. b) Typische Schaltung eines Symmetriergliedes mit Ferritkörper und Z-Transformation. c)  $\lambda/2$ -Ummwegleitung zur Anpassung eines konzentrischen Kabels an eine symmetrische Antenne mit vierfachem Fußpunktwideerstand. Darunter Schema und Ansicht einer für die Bereiche IV und V geeigneten Breitbandausführung (Fuba). d) Die in symmetrischen Systemen meistbenutzte Transformationsleitung mittleren Wellenwiderstandes, praktische Anwendung wie in Bild 66. Zum Selbstbau geeignete Anordnungen siehe Bild 118



Bild 68. Kapazitiver Schieber aus dünnem Blech als einfachstes Mittel zur teilweisen Kompensation störender Blindkomponenten

die Leitung mit der anderen Hand zu berühren – auf der Leitung verschoben und an der Stelle belassen, an der sich die geringste „Plastik“ ergibt. Noch besser, aber viel Geduld heischend, ist es, das empfängerseitige Ende der Antennenzuleitung zentimeterweise zu verkürzen, bis sich ein ausreichend plastikarmes Bild ergibt. „Geister“, d. h. Konturenabstände von einigen Zentimetern, lassen sich auf diese Weise nicht beseitigen, wenn sie von Reflexionen innerhalb des drahtlosen Übertragungsweges herrühren. Hier hilft nur eine bessere Ausrichtung der Antenne und die Erhöhung ihres Vor-/Rück-Verhältnisses.

Bei ausreichenden Feldstärken, d. h. wenn man einige Dezibel Verluste vertragen kann, läßt sich auch mit Widerstandsgliedern nach **Bild 69** eine Anpassung erreichen. Sie haben den Vorteil, bei Verwendung geeigneter, d. h. induktivitäts- und kapazitätsarmer Schichtwiderstände praktisch frequenzunabhängig zu sein, und den Nachteil, daß man (ähnlich wie bei den  $\lambda/4$ -Transformationsleitungen) die aneinander anzupassenden Widerstandswerte genau kennen muß.



für  $R > Z$ :

$$R_L = R \sqrt{1 - \frac{Z}{R}}$$

$$R_Q = \frac{Z}{\sqrt{1 - \frac{Z}{R}}}$$

Leistungsverlust in dB:

$$N_V = 10 \lg \left( \sqrt{\frac{R}{Z}} + \sqrt{\frac{R}{Z} - 1} \right)^2$$

Bild 69. Wellenwiderstandsanpassung mit induktionsfreien und kapazitätsarmen Widerständen

Bei Antennen und Leitungen kann man sich in dieser Beziehung im allgemeinen nach den Listenwerten richten, während der Empfängereingang über alle Kanäle hinweg recht unterschiedliche Werte annehmen kann.

Bei selbstgebauten Antennen mache man die Zuleitung unter Berücksichtigung des Verkürzungsfaktors genau ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge (für die mittlere Kanalfrequenz) lang, um

den Einfluß der Leitung auf die Anpassungsversuche auszuschalten. Im übrigen sollte man die Anpassungsmaßnahmen nur so weit treiben, wie sie zur Erfüllung des Zwecks, nämlich zur Verringerung spürbarer Energieverluste und zur Behebung von Reflexionsstörungen, erforderlich sind. Jede Anpassung findet ebenso wie jede Entstörungsmaßnahme an der Leitung ihre Grenze, sobald das System infolge örtlicher Umstände merkbar unsymmetrisch wird. In schwierigen Fällen kann es daher nützlich sein, von vornherein auf eine unsymmetrische Übertragung, z. B. über koaxiale Kabel, überzugehen. Das gilt besonders dann, wenn Fernsehempfänger mit unsymmetrischem Eingang in störverseuchten Wohngegenden aufgestellt werden und lange Leitungen erforderlich sind.

Ein unsymmetrischer Empfängereingang verrät sich sofort, wenn ein einzelner Draht von etwa  $\lambda/4$ -Länge an den beiden Dipolbuchsen unterschiedliche Wirkung auf das Rauschen bzw. den Empfang zeigt. Allgemein kann die Anlagensymmetrie nur dann als ausreichend angesehen werden, wenn sich beim Umpolen der Stecker keine deutliche Änderung der Empfangsqualität oder des Signal/Stör-Verhältnisses einstellt.

Bei den üblicherweise vorkommenden Leitungslängen ist die Leitungs- bzw. Kabeldämpfung schon von Bedeutung – ein gutes, 20 m langes Koaxkabel verursacht bereits in Bereich III auch bei richtiger Anpassung auf beiden Seiten etwa 20 % Spannungsverlust. Eine hohe Leitungsdämpfung kann mitunter sogar von Vorteil sein, wenn sie nämlich die infolge einer unvermeidbaren Fehlanpassung innerhalb der Leitung reflektierten Signale auf ein nicht mehr störendes Maß dämpft.

Die schönste Anpassung an den Leitungsenden nützt aber nichts, wenn man nicht dafür sorgt, daß längs des Leitungsweges keine Wellenwiderstandssprünge auftreten können. Es kommt dabei nicht nur auf reflexionsfreie Steckverbindungen und Überspannungsableiter an, sondern auch auf sachgemäße Installation mit geeigneten Abstands- oder Wandisolatoren, Fensterdurchführungen usw., sowie auf die Vermeidung von Knickstellen und ähnlichen Reflexionsursachen.

Den Einfluß großer leitender Flächen auf die vorbeiführende Antennenleitung umgeht man durch das ein- bis dreimalige Ver-

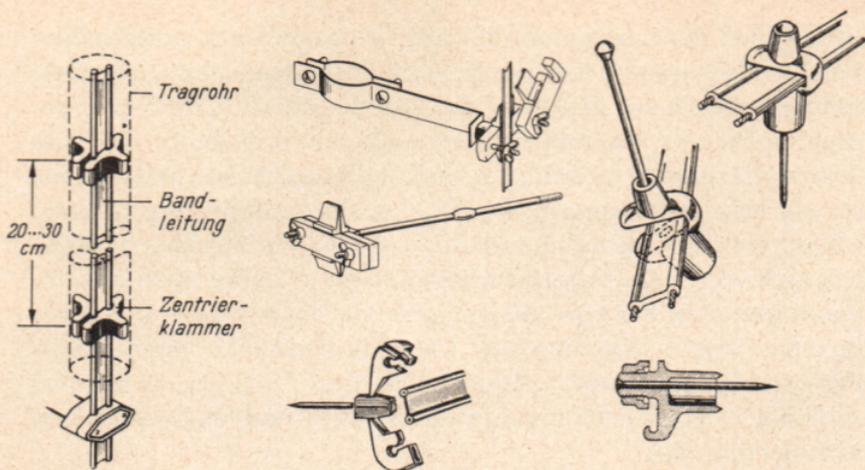


Bild 70. Einige bewährte Isolatoren für Bandleitungen

drillen je Meter der Leitung und durch Parallelführen bei nahen Flächen (bei Hochkantführung ergäben sich unsymmetrische Streukapazitäten zur leitenden Fläche). Dies ist auch bei Verlegung von Schlauchleitung zu beachten, die wegen der größeren Unabhängigkeit ihrer elektrischen Werte von Niederschlägen und Schmutzbelag vielfach der einfachen Bandleitung vorgezogen wird.

**Bild 70** zeigt in Ergänzung zu den in Bild 111 gebrachten Beispielen einige bewährte Isolatoren für die Installation von Fernsehantennenleitungen. Für die Verlegung ungeschirmter Leitungen sind sie unentbehrlich, da eine Installation auf oder gar in Putz den Wellenwiderstand ändert und die Dämpfung so erhöht, daß die Leitung zur Übertragung von Fernsehfrequenzen völlig ungeeignet wird.

## 12. Pegelanpassung

Angesichts der komplizierten Schaltungstechnik eines Fernsehempfängers ist es nicht weiter verwunderlich, daß auch hinsichtlich seiner Eingangsspannung engere Grenzen zu ziehen sind als bei Geräten für Hörrundfunk. So kann eine Rauschspannung, die beim Hörempfang kaum die Verständlichkeit behindert, beim Fernsehempfang den Bildeindruck bis zur Unkenntlichkeit verwischen, selbst wenn der verwertbare Modulationsinhalt für die Bild- und Zeilensynchronisation ausreicht.

Auf der anderen Seite muß auch ein zu großer Eingangspegel vermieden werden, weil er den Fernsehempfänger übersteuern kann, was sich als Verschlechterung der Bildgradation und als Neigung zu Synchronisierstörungen bemerkbar macht.

### a) Verstärker

Wenn bei Über-Sichtweitenempfang alle antennenmäßigen Mittel erschöpft sind, oder wenn man infolge ungünstiger örtlicher Verhältnisse – z. B. infolge übermäßig langer Antennenzuleitung – kein störungsfreies oder kontrastreiches Bild erreichen kann, so bleibt nur die Möglichkeit der Verstärkung. Diese Frage können wir hier nicht ausführlich beantworten, zumal es darüber eine umfangreiche, leicht zugängliche Literatur [25], auch in Form von Firmendruckschriften, gibt, sondern müssen uns auf einige grundsätzliche Bemerkungen beschränken.

In der Regel benutzt man Verstärker immer dann, wenn die Antenne selbst einen ausreichenden Fernsehempfang verbürgt, aber die nachfolgende Ableitung oder das Leitungsnetz einer Gemeinschaftsanlage soviel Antennenleistung verloren gehen läßt, daß die Restspannung am Aufstellungsort des Empfängers nicht mehr für einen befriedigenden Bildempfang genügt.

Bei manchen Einzelanlagen werden Verstärker auch dann erforderlich, wenn die Antenne nicht am günstigsten Ort errichtet werden kann, oder wenn die Länge der Zuleitung bereits einen Verlust in der Größenordnung des Antennengewinns mit sich bringt. Dann empfiehlt sich die Verwendung eines ferngespeisten Mastverstärkers (**Bild 71**), der die Antennenspannung in dem be-



treffenden Kanal heraufsetzt. Damit erhält man für den Fall zu hoher Leitungsverluste ein kontrastreiches Bild und im Falle starker Umweltstörungen ein ausreichendes Signal/Stör-Verhältnis.

## b) Dämpfungsglieder

Der umgekehrte Fall, daß man nämlich eine zu hohe Antennenspannung (z. B. 50 mV) wegdämpfen muß, wird mit zunehmendem Ausbau des Fernsehendernetzes häufiger auftreten. Der naheliegende Gedanke, bei zu hohen Feldstärken doch einfach auf eine ‚schlechtere‘ Antenne oder eine Antenne mit kleinerem Gewinn zurückzugreifen, läßt sich beim Fernsehempfang nur in Ausnahmefällen verwirklichen, weil bewußte Fehlanpassungen ebenso wie gleichzeitiger Empfang direkter und reflektierter Wellenzüge Bildfehler wie „Plastik“ und „Geister“ hervorrufen.

Man hat hier also den kuriosen Fall, daß man eine gutbündelnde Antenne zum Ausblenden von Laufzeitverzerrungen richten muß, daß man sie sorgfältig anzupassen hat, um Bildfehler verursachende Reflexionen auf der Zuleitung zu vermeiden, und daß man dann den so erhaltenen Leistungsgewinn wegdämpfen muß, um den Empfänger nicht zu überfüttern.

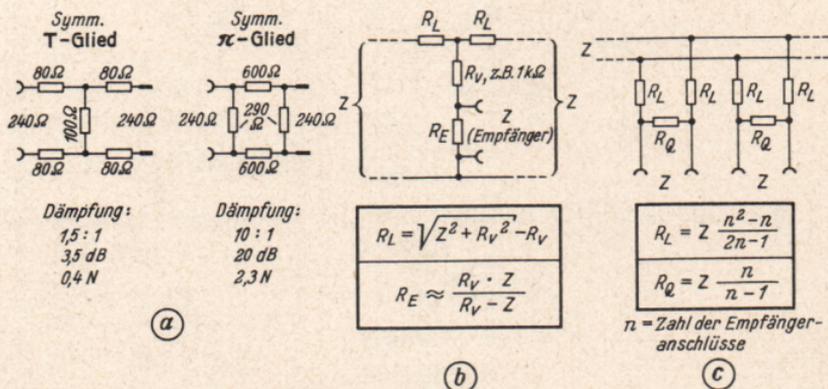


Bild 72. Dämpfungs- und Entkopplungsglieder mit ohmschen Widerständen. a) Zwei bewährte Dämpfungsglieder zur reflexionsfreien Herabsetzung der Antennenspannung (siehe auch die Formeln und Wertetabellen in RPB 100, Seite 84/85). b) Entkopplungsschaltung einer Anschlussdose für Gemeinschaftsanlagen mit Schleifensystem ( $R_L$  ist meist entbehrlich). c) Entkopplungsschaltung für den Betrieb mehrerer Fernsehempfänger an einer Antenne

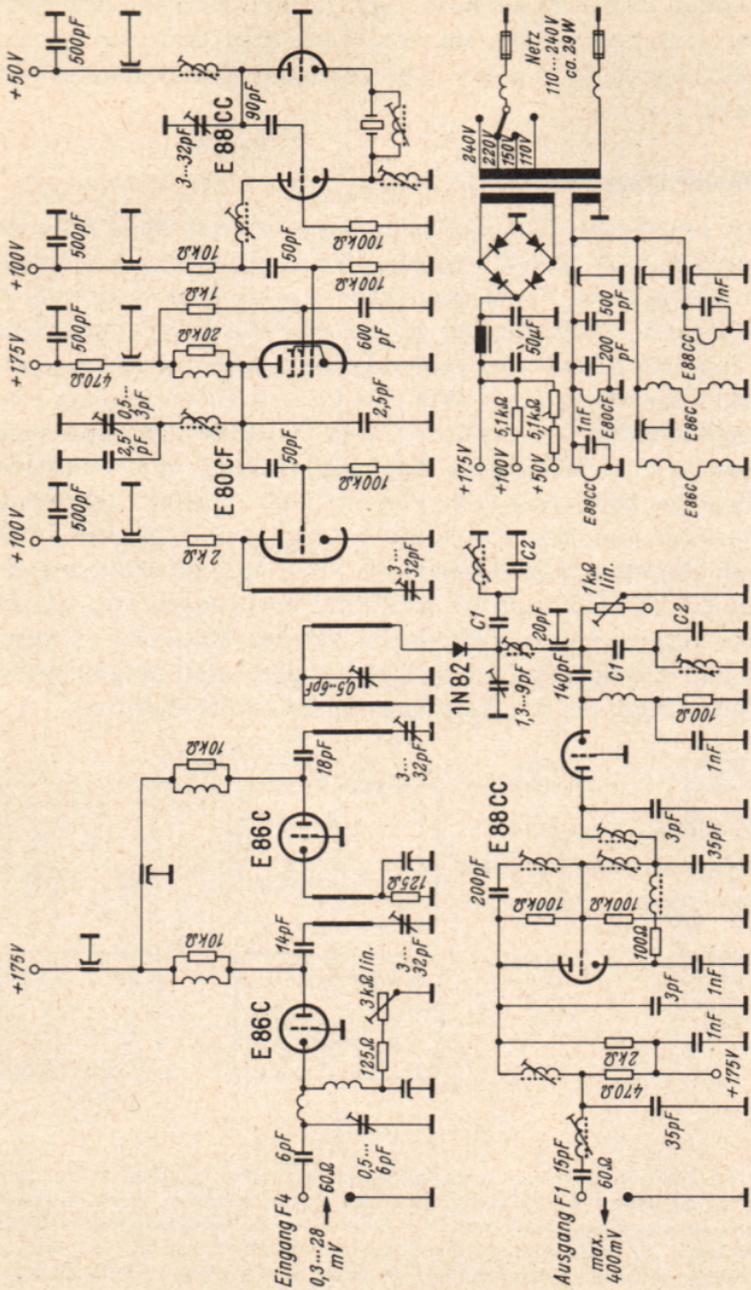


Bild 73. Schaltung eines Umsetzers von einem Kanal in Bereich IV in einen Kanal des Bereichs I (Kathrein Nr. 5311)

Die Empfängerfabriken tragen diesem Umstand z. T. dadurch Rechnung, daß sie die Eingangsschaltungen ihrer Geräte mit wahlweise einschaltbaren Dämpfungsgliedern ausstatten.

Solche Dämpfungsglieder, z. B. nach **Bild 72**, arbeiten zufriedenstellend, wenn sie aus ohmschen, d. h. hier aus wendelfreien, Schichtwiderständen enger Toleranz (max.  $\pm 5\%$ , besser  $\pm 1\%$ ) kapazitätsarm aufgebaut sind. Auch sollen ihre Anschlußstellen für den betreffenden Wellenwiderstand reflexionsfrei sein, also beispielsweise aus den üblichen 240- $\Omega$ -Steckverbindungen bestehen.

### c) Frequenzumsetzer

In älteren Gemeinschaftsanlagen stößt der UHF-Empfang in den Bereichen IV/V auf Schwierigkeiten, wenn der installierte Kabeltyp eine zu hohe Dämpfung für Dezimeterwellen aufweist. Um dennoch den angeschlossenen Teilnehmern den Empfang eines zweiten Programms zu ermöglichen, bedient man sich eines Frequenzumsetzers, der den von einer UHF-Antenne empfangenen Kanal des örtlich zuständigen Bereich-IV/V-Senders in einen Kanal des Bereichs I umsetzt. Wie **Bild 73** an einem Beispiel zeigt, wird bei einem solchen Umsetzer die Eingangsfrequenz verstärkt und in einer Mischdiode mit einer Abstandsfrequenz gemischt, die aus Stabilitätsgründen aus einem Quarzoszillator mit nachfolgender Frequenzvervielfachung gewonnen wird. Die nach der Mischung resultierende Ausgangsfrequenz wird dann noch einer Nachverstärkung unterzogen. Die Art des Frequenzumsatzes bringt das Auftreten unerwünschter Nebenfrequenzen mit sich, die unter allen Umständen von den Fernsehempfängern ferngehalten werden müssen. Aus diesem Grunde gibt es nicht für alle denkbaren Kombinationen von Eingangs- und Ausgangskanälen Umsetzer im Handel.

## 13. Ermittlung der richtigen Antennenform

Nachdem wir uns in den bisherigen Abschnitten einen Überblick über die Zusammenhänge verschafft haben, die bei Fernsehantennen eine besondere Rolle spielen, kommen wir zu dem Kernproblem des Praktikers, nämlich zur Auswahl der günstigsten Antennenform für die jeweils gegebenen Verhältnisse.

### a) Grundsätzliches

Wer schon einmal mit einem Dipol am ausgestreckten Arm unter ungünstigsten Empfangsverhältnissen beobachtet hat, wie sehr sich die Bildqualität und gleichzeitig die Empfangslautstärke oft innerhalb eines halben Meters nach allen Richtungen hin verschlechtern oder verbessern, wird zu dem Schluß gekommen sein, daß hier nur der Versuch helfen kann.

Tatsächlich läßt sich zwar alles genau berechnen, doch gilt das Rechenergebnis nur für einen auf viele Wellenlängen nach allen Richtungen freien und ungestörten Empfangsort, den man in keiner Wohngegend vorfindet. Zudem kommt es in den meisten Fällen gar nicht einmal darauf an, den höchsten Gewinn gegenüber einem einfachen Dipol zu erzielen, als vielmehr darauf, die Antenne – und sei es auch nur ein einfacher Dipol – an die Stelle der größten verfügbaren Feldstärke zu bringen. Der tatsächliche Gewinn, z. B. gegenüber einem Gehäusedipol, liegt dann nicht in der Überlegenheit der Antennenausführung, sondern in ihrer besseren Versorgung mit Senderfeldstärke.

Ausgangspunkt jeder Antennenplanung ist die Frage, ob der Aufstellungsort des Empfängers im Versorgungsgebiet, d. h. innerhalb der theoretischen Sichtweite des zu empfangenden Senders, liegt oder nicht. Im ersten Falle wird man den Hauptwert auf ein hohes Vor-/Rück-Verhältnis legen müssen, während im zweiten Fall hoher Gewinn und scharfe Bündelung (horizontal für Gewinn, vertikal gegen Störungen) wichtiger sein werden.

### b) Bandbreite

Die zweite Frage betrifft die erforderliche Bandbreite der Antenne. Einkanalantennen sind stets bei kleinen Feldstärken zu

bevorzugen und darüber hinaus immer dann, wenn eine Antenneneigenschaft (Richtcharakteristik, Gewinn, Anpassung) besonders betont werden soll. Dagegen wird man Antennen für mehrere Kanäle oder einen ganzen Bereich dann wählen, wenn am Empfangsort mehrere Sender in ausreichenden Feldstärken einfallen oder wenn bei dem ‚zuständigen‘ Fernsehsender ein Kanalwechsel zu erwarten ist. Liegen im ersten Fall die Sender in verschiedenen Himmelsrichtungen, so wird man die Antenne drehbar lagern und sie auf mechanischem oder elektrischem Wege (Kap. 16) auf den jeweils zu empfangenden Sender ausrichten.

Stehen nur zwei Sender in engerer Wahl, so kann es preislich günstiger sein, zwei entsprechend bemessene und ausgerichtete Einkanalantennen zu errichten, die über passende Weichen mit der gemeinsamen Ableitung verbunden werden [23].

In einigen westdeutschen Gebieten können Sender empfangen werden, deren Kanäle aneinandergrenzen. Wo beide Sender mit Feldstärken auftreten, die zum Empfang bzw. zum Hervorrufen von Störungen ausreichen, ohne daß der benutzte Empfänger die notwendige Selektion (1 : 200) aufweist, muß die Antenne in der Lage sein, den von hinten einfallenden unerwünschten Sender wegzudämpfen. Hierfür genügt erfahrungsgemäß selbst ein Einkanal-Yagi nicht, weil sich sein hohes Vor-/Rück-Verhältnis nicht auf den störenden, sondern auf den zu empfangenden Kanal bezieht. Da sich das Vor-/Rück-Verhältnis bei den üblichen Antennenformen aus physikalischen Gründen nicht breitbandig machen läßt, muß man in dieser Situation eine Antennenkonstruktion wählen, die ein maximales Vor-/Rück-Verhältnis für den Nebarkanal unter gleichzeitiger scharfer Bündelung in der Hauptempfangsrichtung für den Sollkanal einzustellen gestattet. Hierfür eignen sich Antennen mit in ihrer Länge verstellbaren Reflektoren (z. B. von *Hirschmann*, *Kathrein* und *Wisi*).

Von der Versorgungslage hängt es auch ab, ob man eine Dachantenne installieren muß, oder ob man schon mit einer Fenster- oder Innenantenne eine ausreichende Feldstärke vorfindet. Wie schon erwähnt, muß man mitunter auch in gutversorgten Gebieten einen höheren Aufwand treiben, als theoretisch zu erwarten ist, weil man anders die von den Inhomogenitäten der Umgebung verursachten „Geister“ nicht los wird. In diesen Fällen lohnen

sich Vorversuche mit den im nächsten Abschnitt besprochenen Vorführtanten. Sie lassen schnell den günstigsten Aufstellungs-ort der Antenne finden oder erleichtern zumindest die Feststellung, daß man ohne Außenantenne nicht auskommt. Hierbei wären zwei Dinge zu beachten. Erstens soll der Gewinn der dann benötigten Antenne den Verlust der Zuleitung zum Empfänger übertreffen. Und zweitens gilt hier nicht der Satz: „Je höher die Antenne, desto besser der Empfang“, weil man infolge von Bodenreflexionen mit zunehmender Antennenhöhe auch mit Empfangsverschlechterungen rechnen muß. Es ist z. B. möglich, daß sich bei 2 und 7 m Höhe größere Antennenspannungen ergeben als bei 4 oder 10 m Höhe [26].

Nach allem hat also die Berechnung einer Antennenanlage [29] nur Sinn, wenn man auf Grund einer Feldstärkemessung Gewißheit über die zu erwartende Antennenspannung hat (**Bild 74**). Die rechnerisch gegebenen Feldstärken, wie sie in **Tabelle 13** aufgeführt sind, können nur als Größenordnungen angesehen werden, die je nach den örtlichen Verhältnissen erheblich niedriger oder höher liegen können.

Liegt die vorhandene Feldstärke fest, so gibt es immer noch eine Reihe von Anwendungsfällen, in denen sich eine Überschlagsrechnung lohnt, z. B. bei Gemeinschaftsantennen, bei sehr langen Zuleitungen usw. Hier dient die Rechnung u. a. der Feststellung, ob man einen Verstärker benötigt und welche Leitungs-

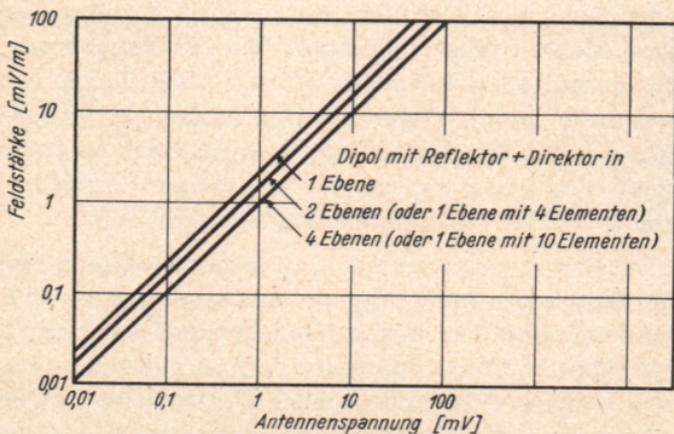


Bild 74. Antennenspannung in Abhängigkeit von der Feldstärke am Empfangsort und vom Antennenaufwand (nach Siemens-Unterlagen)

Tabelle 13. Größenordnung der abhängig von Senderleistung und -entfernung zu erwartenden Feldstärken

Sender		Senderentfernung						
		10	20	30	50	70	120	150 km
Strahlungsleistung	Antennenhöhe							
	100	7	1,7	0,6	120	40	3	0,6
	200	15	3,5	1,5	280	100	8	1,5
	500	35	10	4	1 000	350	40	7
10	100	22	5,4	2	380	125	10	2
	200	47	11	4,7	880	320	25	4,7
	500	110	32	12,5	3 200	1 100	125	22
kW	m	mV/m			μV/m			

art man verwenden soll. Je nach Empfängertyp wird man dabei die Höhe der mindestens erforderlichen Eingangsspannung auf 100 bis 500  $\mu\text{V}$  an 240  $\Omega$  oder 50 bis 250  $\mu\text{V}$  an 60  $\Omega$  festlegen. Für den Fall idealer Anpassung muß dann die Antennenspannung um den Spannungsverlust der Leitung höher sein, wozu noch ein



Bild 75. Beispiel für den Pegelplan einer Antennenanlage ohne Verstärker (hierzu Bild 74 und Tabelle 13). Der mit Fehlanpassung bezeichnete Spannungssprung berücksichtigt zugleich Verluste durch Feldstärkeschwankungen und Witterungseinflüsse

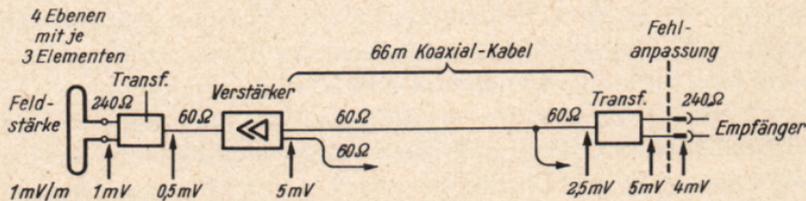


Bild 76. Beispiel für den Pegelplan einer Antennenanlage mit Verstärker (hierzu Bild 74 und Tabelle 13)

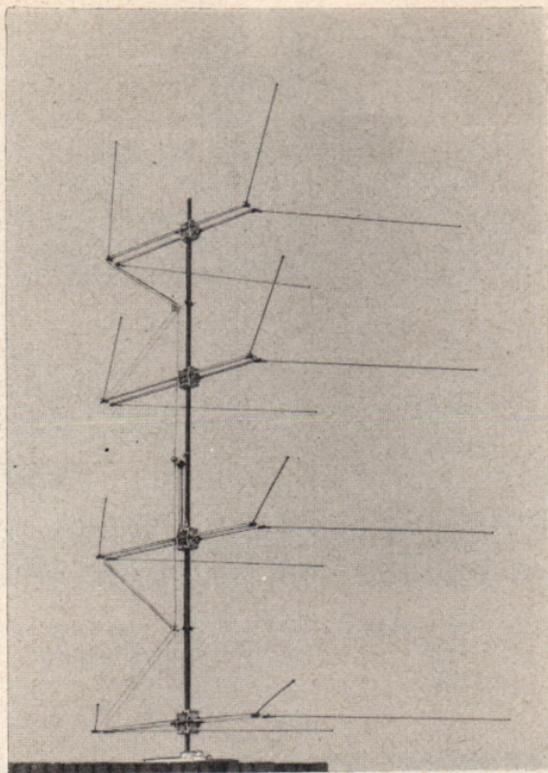
Aufschlag von beispielsweise 6 dB für Feldstärkeschwankungen, Witterungseinflüsse und Fehlanpassungen zu machen ist. Nach dieser einfachen Überlegung läßt sich ein Pegelplan aufstellen, wie **Bild 75** für eine Einzelanlage ohne Verstärker und **Bild 76** für eine Gemeinschaftsanlage mit Verstärker zeigen. Für Dämpfungsberechnungen in Gemeinschaftsanlagen haben die namhaften Antennenhersteller (*Fuba, Hirschmann, Siemens* u. a.) besondere Taschenrechnerschieber herausgebracht.

Die gleichen grundsätzlichen Erwägungen gelten auch für den Fernsehteil von Allwellenantennen (**Bild 77**). Nur muß man bei diesen Antennen die technischen Unterlagen der Herstellerfirmen besonders eingehend prüfen, weil verständlicherweise bei allen Mehrbereichssystemen nicht alle Eigenschaften denen einer optimal dimensionierten Einkanalantenne entsprechen können.

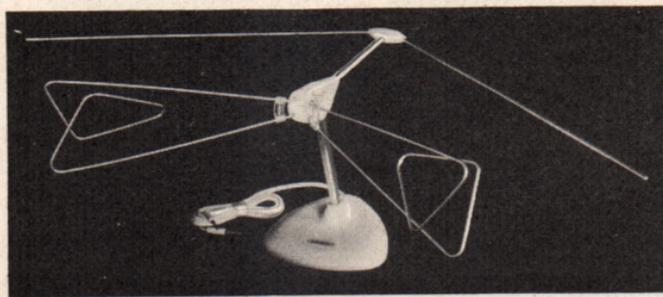
### **c) Vorführ- und Zimmerantennen**

In der täglichen Praxis gibt es viele Fälle, in denen auch eine überschlägige Berechnung sinnlos ist, sei es, daß der Empfangsort in einem an sich gutversorgten Bezirk liegt, sei es, daß er sich im Gegenteil mit Sicherheit an der Grenze der Über-Sichtweite (z. B. in 130 km Entfernung von einem hochgelegenen Sender) befindet. Hier ist wirklich der Versuch das Mittel der Wahl.

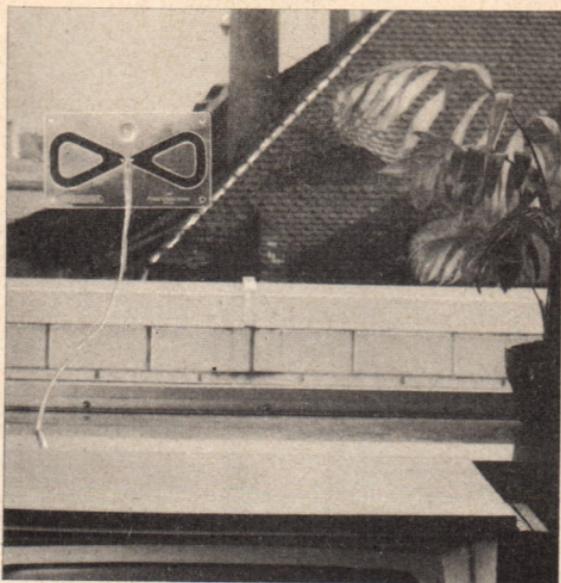
Wenn man feststellt, daß der eingebaute Gehäusedipol keinen Empfang oder allenfalls nur eine schwache Änderung des Rauschens und eine vage Andeutung von Bildmodulation bringt, so besteht durchaus noch die Möglichkeit, daß eine sorgfältig placierte und angepaßte Innen- oder Fensterantenne zufriedenstellenden Empfang ermöglicht. In solchen Fällen sucht man zweckmäßig mit einer Zimmer- oder Vorführantenne (**Bilder 78 bis 82**) oder mit einer gleichwertigen selbstgebauten Ausführungsform den Ort der größten Feldstärke. Bei der Planung größerer Anlagen wird man auch mit einem empfindlichen Antennenmeßgerät (von verschiedenen Herstellern im Handel) arbeiten. An der damit ermittelten günstigsten Stelle errichtet man dann die endgültige Antenne, deren technischer Aufwand (Zahl der parasitären Elemente und Ebenen) sich nach den Meßwerten bzw. danach richten wird, wie weit schon die Vorführantenne ein rauscharmes ungestörtes Bild vermitteln konnte.



**Bild 77. Roka-Doppel-V-Antenne als Beispiel für eine bewährte Fernseh-Breitbandantenne, die sich für den Empfang in den Frequenzbereichen 45 bis 250 und 450 bis 600 MHz und als KML-Antenne eignet**



**Bild 78. Zimmerantenne für Bereich III (Kathrein Comet)**



*Bild 79. UHF-Fernsehantenne für Bereich IV/V zur Befestigung durch einen Saugnapf oder mittels Schrauben (Grundig)*



*Bild 80. Zimmerantenne für Bereich IV/V (Fuba FIA 1 Q 2)*

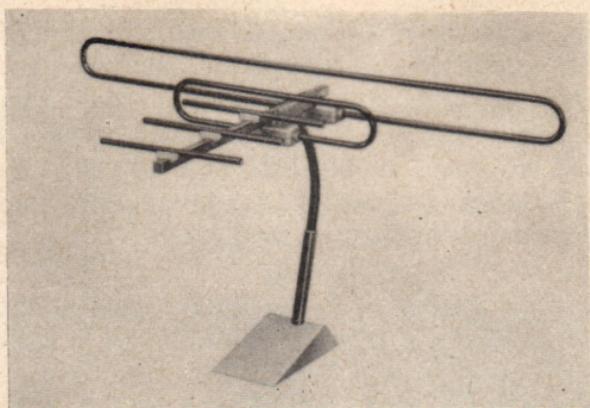


Bild 81. VHF-/UHF-Zimmerantenne von dipola  
(Spannungsgewinn: 5,2 dB; VRV: 18,6 dB)

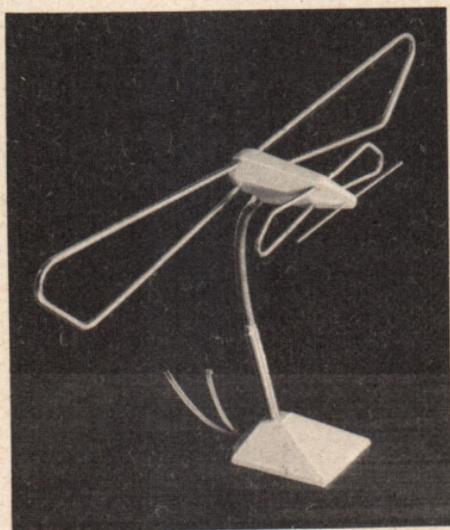


Bild 82. Zimmerantenne für die Bereiche III bis V (Fuba 1 Z 3 „Condor“)

Im übrigen eignen sich Vorführantennen – besonders wenn sie einen Fuß zur Aufstellung besitzen – in gut versorgten Bezirken auch als ständige Innenantenne, weil sie sich bequem ausrichten lassen. In reflexionsreichen Gebäuden lassen sich oft gute Erfolge mit Teleskopantennen erzielen, deren Dipolschenkel auf optimale Längen ausgezogen werden können und in einem großen Winkelbereich schwenkbar sind (**Bild 83**).



*Bild 83. Teleskop-Heimantenne für Nahfeldempfang  
(Siemens-Electrogeräte AG)*

# PRAKTISCHER ANTENNENBAU

## 14. Zur Auswahl der richtigen Antenne und ihres Montageortes

### a) Auswahl nach Empfangsbereich und Empfängerklasse

Ob wir einen Detektorempfänger oder einen Spitzensuper betreiben wollen, immer sollten wir uns bemühen, die unter den gegebenen Verhältnissen bestmögliche Antenne zu errichten. Im ersten Fall ist sie Bedingung dafür, daß wir überhaupt etwas hören, im letztgenannten Fall aber ermöglicht sie erst, die Eigenschaften des Empfängers voll auszunutzen. Zwar wissen wir von der Legion der um uns herum benutzten Behelfsantennen, von den bescheidenen Ansprüchen der Taschengeräte und von der Genügsamkeit der Autoempfänger, daß es „auch so“ geht und daß man auch mit dem berühmten „Stück Draht“ fast ganz Europa in den Lautsprecher zwingen kann. Andererseits lehrt die Erfahrung, daß man nach der ersten Fernempfangsfreude sehr schnell vor den zahlreichen irdischen und atmosphärischen Störungen und den lästigen Schwundeffekten kapituliert und nur noch „den“ oder einige ganz wenige Sender regelmäßig hört. Auch der UKW-Rundfunk ist hiergegen kein Allheilmittel, denn er hat nicht nur bezüglich der Empfangsqualität die Ansprüche des Hörers höher geschraubt, sondern auch hinsichtlich des Programms. Wer aber aus Programmgründen zeitweise von UKW auf Mittel- oder Kurzwellenempfang umzuschalten pflegt, stellt sich vielleicht die Frage, was er zur Verbesserung des AM-Empfanges tun kann. Das einzige jedoch, was man ohne Eingriff in den Empfänger verbessern kann, ist zweifellos die Antennenanlage.

Gleichgültig, ob man eine bestehende Antenne verbessern will oder eine Neuanlage plant, stets wird man sich einer Vielzahl verschiedener Antennenformen gegenübersehen, ohne recht zu wissen, welche unter den gegebenen Umständen „die beste“ ist, und ob der Händler vielleicht nicht nur aus geschäftlichen Gründen ein besonderes Fabrikat führt. Oft macht sich auch der Händler leider nur wenig Gedanken über technische und qualitative

**Tabelle 14.**  
Verwendungsmöglichkeiten verschiedener Antennenformen

Antennenform	Bereiche			
	L, M	K	U	F
Antennenmatten	(x)	—	(x)	—
aperiodische Innen-Draht-Antenne	x	x	—	—
abgestimmte Innen-Draht-Antenne	x	x	x	—
Innendipole	—	—	x	(x)
aperiodische Fenster-Antenne	x	x	(x)	—
Fenster-Dipole	(x)	(x)	x	—
Fenster-Allwellen-Antenne	x	x	x	—
Fenster-Fernseh-Antenne	(x)	—	—	x
Allwellen-Dachboden-Antenne	x	x	x	—
Langdraht-Außen-Antenne	x	x	x	—
aperiodische Stab-Antenne	x	x	—	—
Dachdipole für UKW	(x)	(x)	x	—
Dachdipole für Fernsehen	(x)	(x)	(Versuch)	x
Allwellen-Dachantennen	x	x	x	(x)
UKW/Fernseh-Kombinationen	(x)	(x)	x	x
Allwellen/Fernseh-Kombinationen	x	x	x	x

x = geeignet

(x) = unter günstigen Umständen geeignet

Unterschiede zwischen den verschiedenen Antennenarten, deren Anwendungsmöglichkeiten **Tabelle 14** zeigt.

Ehe man eine bestimmte Antenne bestellt oder baut, sollte man sich zunächst einmal darüber klarwerden, was man eigentlich mit ihr erreichen will. Ist beispielsweise auf Grund günstiger Empfangslage bereits mit der Gehäuseantenne des Empfängers zufriedenstellender UKW-Empfang möglich, während die Ergebnisse auf den AM-Wellenbereichen sehr mäßig sind, so kann man sich die Mehrausgabe für eine Allwellenantenne sparen und kommt mit einer üblichen Stab- oder Langdrahtantenne aus. Am Stadtrand, in elektrisch ungestörter Gegend, wird man nicht ein-

Tabelle 15. Abhängigkeit der erforderlichen Antennenform von den Empfangsbedingungen

Bereich	Empfänger-Klasse	erforderliche Antenne für		
		Ortsempfang	Bezirksempfang	Fernempfang
ML	Detektorgerät Einkreiser Superhet Koffer- oder Taschengerät	Drahtantenne Innenantenne Innenantenne eingeb. Ferritantenne	Außenantenne Fensterantenne Fensterantenne eingeb. Ferritantenne	Langdrahtantenne Außenantenne Stabantenne, geschirmt Zusatzantenne
K (ML)	Detektorgerät Einkreiser Superhet Koffer- oder Taschengerät	(Draht- oder Behelfs-A.) (Innenantenne) (Innenantenne) (eingeb. Ferritantenne)	(Außenantenne) (Fensterantenne) (Fensterantenne) (eingeb. Ferritantenne)	KW-Drahtantenne KW-Drahtantenne KW-Drahtantenne Zusatzantenne
U	Kristallgerät Geradeausempfänger Superhet	Dach- oder Fensterdipol Dach- oder Fensterdipol Innen- oder Gehäusedipol	Innen- oder Fensterdipol	— — Yagi-Antennen
UKML	AM/FM-Mittel-Super AM/FM-Spitzen-Super	Allwellen-Innenantenne Allwellen-Fensterantenne	Allwellen-Fensterdipol Allwellen-Fenster- o. Dachantenne m. geschirmt. Zultg.	Allwellen-Dach-Antenne
F	Fernsehempfänger	(Gehäuse, Innen- oder) Fenster-Dipol	Außendipol mit hohem Vor-/Rück-Verhältnis	Außendipol (Yagi) mit hohem Gewinn
FU	Fernsehempfänger mit UKW-Zusatz	getrennte Innendipole	getrennte Dipole, Antennen-Kombination	(F-Yagi + U-Dipol, Antennen-Kombination)
FUKML	Fernsehempfänger plus AM/FM-Super	F-Gehäusedipol und Allwellen-Draht-A.	Antennen-Kombination	(Antennen-Kombination)

mal eine abgeschirmte Zuleitung benötigen. Man kann also oft für nur wenig Geld seine Empfangsverhältnisse überraschend verbessern. Überhaupt ist die Angst vor den hohen Antennenpreisen in der Mehrzahl aller Fälle unbegründet. Beim Studium der Antennenkataloge wird man immer wieder feststellen, daß der für gutes Antennenmaterial mit entsprechender Lebensdauer aufgewandte Betrag meist in gar keinem Verhältnis zum erzielten Nutzen steht.

Aus **Tabelle 15** erhalten wir Anhaltspunkte für die bei gegebenen Empfangsverhältnissen erforderliche Antennenart. Dabei sei erwähnt, daß mitunter (so z. B. beim Detektorempfang) theoretische Erwägungen vor der Entscheidung für ein bestimmtes Antennensystem sehr nützlich sind.

In den Bereichen II bis V (UKW- und Fernsehempfang) können sich erhebliche Abweichungen von den Angaben der Tabelle 15 ergeben.

### **b) Örtliche Gegebenheiten**

Mit der Entscheidung für eine bestimmte Antennenform ist es aber nicht getan, weil jede Antenne in ihrer Wirksamkeit so abhängig von ihrer Umgebung ist, wie beispielsweise ein astronomisches Fernrohr von einem ungestörten Luftraum. Mit anderen Worten: Um aus einer Antenne den größten Nutzen zu ziehen, müssen wir sie so weit wie möglich in das ungestörte Feld der Wellen bringen, die wir mit ihrer Hilfe auffangen wollen. Das bedingt oft Außenantennen, die möglichst hoch über der Erde und über den elektrisch mit Erde gleichbedeutenden Erhebungen wie Häusern, Bäumen usw., aber auch möglichst weit außerhalb des Störnebels der Häuser, von elektrischen Leitungen usw., angebracht sind. Eine Mastantenne, die auf einem Dach aus irgendwelchen Gründen keinen Platz finden kann, bringt auf einem Balkon oder vor einem Fenster eines niedrigen Stockwerkes keinen Gewinn mehr gegenüber einer speziell für solche Fälle entwickelten billigeren Fensterantenne. Umgekehrt wird man von der Montage einer Fensterantenne auf dem Dachfirst absehen, weil es fraglich ist, ob sie dort den Störnebel durchstößt, und weil die Mehrausgabe für eine ausgesprochene Dachantenne gegenüber den Montagekosten kaum noch ins Gewicht

Tabelle 16. Antennenwahl nach örtlichen Gegebenheiten

Empfängerort ... m unter Dach	Verfügbarer Platz für Antenne							
	Außerhalb Empfangsgebäude	Über Dach (Mastantennen)	... m unter Dach					
			1	5	8	11	15	
bis 2	Langdrahtantenne nach entfernten Stützpunkten	nicht geschirmt	Dachboden-Antennen	-	-	-	-	-
2... 5		geschirmte Zuleitung ohne Übertrager		In-	-	-	-	
5... 8				nenant.	-	-		
8...11	Ein- oder Zwei- mastantennen mit Erdkabel	geschirmte Zuleitung mit Übertrager	Dachboden-Antennen	Fensterant.		-		
11...15				Fensterantennen				
15...18				Fensterantennen				

fällt. Ein Außendipol wird als Zimmerantenne kaum Anklang finden, und ein Zimmerdipol, der im Freien montiert wird, dürfte wegen mangelhafter Wetterbeständigkeit keine lange Lebensdauer haben.

Wir sehen an diesen Beispielen, daß auch der für die Antenne verfügbare Aufstellungsort einen Einfluß auf die Antennenform haben kann, und verschaffen uns hierzu an Hand der **Tabelle 16** eine erste Übersicht.

Zu diesen allgemeinen, an sich selbstverständlichen Gesichtspunkten kommen die Auswirkungen örtlicher Verhältnisse bei UKW- und Fernsehantennen. Bekanntlich erfolgt die Ausbreitung der für den frequenzmodulierten Rundfunk wie für das Fernsehen benutzten ultrakurzen Wellen quasioptisch, d. h. geradlinig mit starker Behinderung durch alle im Ausbreitungsweg liegenden Hindernisse einschl. der Erdkrümmung. Daraus ergibt sich, daß bei direkter Sichtmöglichkeit zwischen Sende- und Empfangsantennen mittlerer Höhe und Entfernungen bis etwa 20 km mit Innen- oder Behelfsantennen auszukommen ist („Ortsempfang“ in Tabelle 15). Die darauf folgende Zone von etwa 20 bis 40 km (Bezirksempfang) fordert unter normalen Verhältnissen für guten Empfang, d. h. ausreichende Antennenspannung, bereits Außen-, z. B. Fensterantennen. Bei noch größeren Entfernungen werden Dachdipole, u. U. mit Reflektor und Direktor, benötigt. Mit diesen Gebilden ist dann auch – wenn über-

haupt – ein Fernempfang von Sendern möglich, in deren Schattenreichweite der Empfangsort liegt. In allen diesen Fällen kommt es darauf an, einen möglichst hohen und freigelegenen Platz für die Antenne zu gewinnen, der außerdem für die genaue Ausrichtung und für spätere Änderungen der Antennenlage oder für eine Überholung ohne Schwierigkeiten zugänglich ist<sup>1)</sup>.

In unübersichtlichen Fällen lohnt sich stets die Anfertigung einer maßstäblichen Skizze. Auch bei allen anderen Antennenarten, die am oder auf dem Dach befestigt werden sollen, oder bei Langdrahtantennen, die Grundstücke, Straßen, Leitungen usw. überqueren müssen, sind vor der Wahl des endgültigen Antennenortes noch einige weitere Fragen zu klären.

### **c) Vorschriften und Rechtsfragen**

In erster Linie braucht man die Genehmigung aller Grundstücks- und Hauseigentümer, deren Interessen durch die Antenne berührt oder gefährdet werden können. Zum anderen sind einige wichtige Vorschriften zu beachten, die wir weiter unten besprechen wollen.

Was zunächst die Genehmigung des Hauseigentümers betrifft, so kann wohl keinem Hauptmieter das Recht auf eine Hochantenne verweigert werden, wenn der von ihm unterschriebene Mietvertrag es nicht ausdrücklich ausschließt und eine Einigung mit dem Hauswirt zustande kommt [31]. Wenn das Haus bereits mehrere Antennen trägt, kann es Schwierigkeiten geben. In solchen Fällen ist es ratsam, unter Verzicht auf den Klageweg entweder sich mit einer anderen Antennenart zu behelfen, oder zusammen mit anderen Interessenten und mit Zustimmung des Hauswirtes eine Gemeinschaftsantenne zu errichten. Für Neubauten ist die Gemeinschaftsantenne ohnehin die gegebene Lösung. Wenn sie rechtzeitig eingeplant und fachgemäß aufgebaut wird, sind die auf den einzelnen Teilnehmer entfallenden Kosten erfahrungsgemäß niedriger als bei gleichwertigen Einzelanlagen, bei deren Häufung (abgesehen von architektonischen Rücksichten) noch die Gefahr unerwünschter elektrischer Beeinflussung besteht.

<sup>1)</sup> Einige Firmen liefern vormontierte, zusammenfaltbare UKW- und Fernsehantennen, die auch durch enge Dachluken gehen und zur Montage keine Spezialwerkzeuge erfordern.

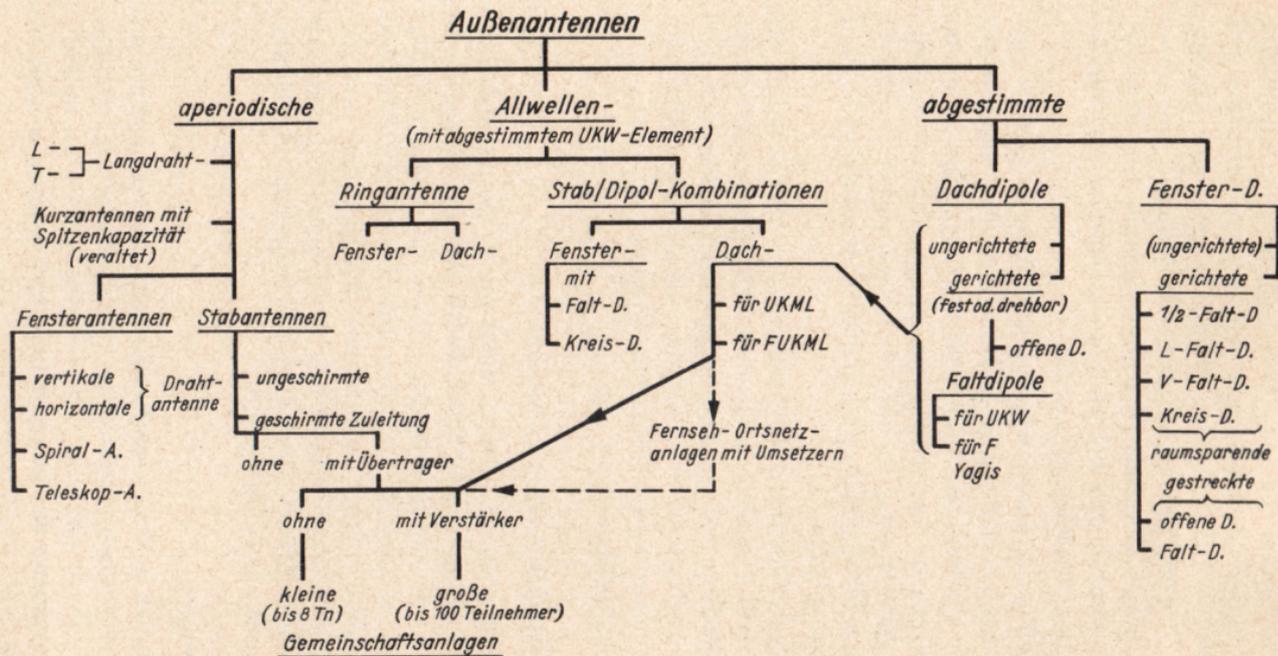


Bild 84. Stammbaum der Außenantennen

Neben den in Kapitel 16a erörterten Gesichtspunkten (mechanische Festigkeit usw.) müssen noch einige Sicherheitsvorschriften [32] beachtet werden, die den Aufstellungsort der Antenne betreffen. So dürfen auf Gebäuden mit weicher Bedachung (Stroh-, Reet-, Schilf- u. a. Dächer) keine Antennen und Zuleitungen installiert werden. Bei hartgedeckten Dächern darf die Begehbarkeit nicht beeinträchtigt werden.

Öffentliche Plätze, Verkehrswege einschl. Bahnen und Wasserstraßen usw., ferner elektrische Leitungen dürfen nur mit Genehmigung der zuständigen Stellen gekreuzt werden. In diesen Fällen und bei Über- und Unterkreuzungen anderer Anlagen dürfen alle Antennenarbeiten nur von anerkannten Fachleuten unter Beachtung der einschlägigen Vorschriften (VDE 0105, 0210, 0855) ausgeführt werden.

Da der Antennenbesitzer oder -erbauer für alle Schäden, die durch seine Antenne verursacht werden, haftbar gemacht werden kann, ist die Beachtung aller einschlägigen Vorschriften dringend zu empfehlen, obgleich jeder Rundfunk- oder Fernsehteilnehmer gegen Personen- und Sachschäden versichert ist, die durch seine Antennenanlage verursacht werden.

#### **d) Die verschiedenen Antennenklassen**

Viel Kopfzerbrechen verursacht meist die Frage, welche Ausführungsform innerhalb einer bestimmten Antennenklasse „die beste“ sei. Hier hilft die Überlegung weiter, mit welcher Antennenform bei den gegebenen örtlichen und finanziellen Möglichkeiten eine möglichst große wirksame Antennenhöhe verwirklicht werden kann. Zur Erleichterung der Übersicht haben wir auf Seite 133 die typischen Vertreter der einzelnen Antennenklassen stammbaumartig dargestellt.

##### *1. Außenantennen*

In **Bild 84** finden wir den nach aperiodischen, abgestimmten und Allwellen-Antennen aufgeteilten „Stammbaum“ der Außenantennen, der gleichzeitig die Gemeinschaftsanlagen umfaßt. Beispiele aperiodischer (nicht abgestimmter) Antennen sind in **Bild 85** skizziert.

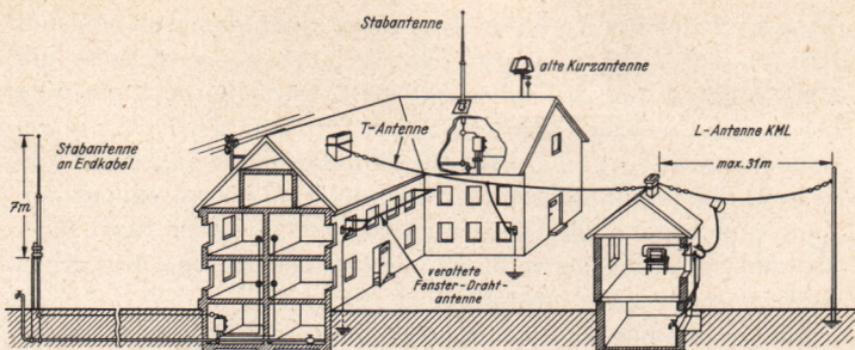


Bild 85. Beispiele aperiodischer Antennen

Zu den abgestimmten Antennen, die als Dipolanordnungen für Fernseh- und UKW-Empfang gebaut werden, müssen wir noch einige Bemerkungen machen. Trotz der grundsätzlich gleichen physikalischen Wirkungsweise wollen wir einen Unterschied zwischen UKW-Antennen (d. h. solchen für UKW-FM-Rundfunkempfang) und Fernsehantennen machen, weil an die letzteren wesentlich höhere Forderungen in elektrischer wie mechanischer Beziehung gestellt werden. Beiden gemeinsam ist, daß sie echte resonanzfähige Gebilde darstellen. Während aber die UKW-Antennen nur einen Frequenzbereich von rund 87 bis 104 MHz beherrschen müssen, erstreckt sich der Fernsehbetrieb (in Deutschland) auf drei Bereiche (47 bis 68, 174 bis 233 und 470 bis 790 MHz). Schon bei den UKW-Antennen ist der Faltdipol wegen seiner größeren Fläche und seines relativ kleineren L/C-Verhältnisses dem offenen Dipol an Breitbandigkeit überlegen. Außerdem ist sein viermal größerer Fußpunkt-widerstand für die Anpassung mehrelementiger Antennen nur erwünscht. Für Fernsehantennen, an die ja besondere Forderungen nach

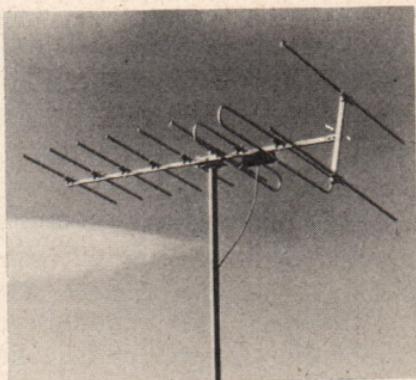


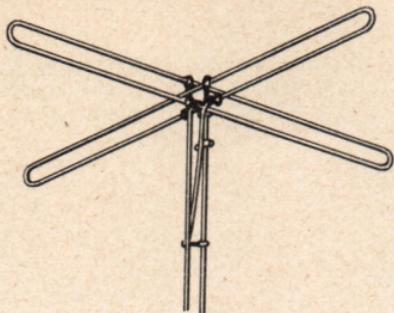
Bild 86. Mehrkanal-Fernsehantenne (Fuba FSA 481). G: 9,9 dB; VR: 25 dB;  $W_A$ : ca. 7 kp

hohem Vor-/Rück-Verhältnis, großem Spannungsgewinn und Breitbandigkeit über mehrere Kanäle oder ganze Bereiche gestellt werden und die daher mit vielen parasitären Elementen ausgestattet werden (Kapitel 8...10), wird meist der Faltdipol als Grundelement bevorzugt (**Bild 86**). Man darf dabei auch nicht vergessen, daß Fernsehantennen rund die 10fache Antennenspannung (mindestens 0,5 mV) der UKW-Antennen und einen Störabstand von mindestens 40 dB bereitstellen müssen und gegen Reflexionsstörungen unempfindlich sein sollen.

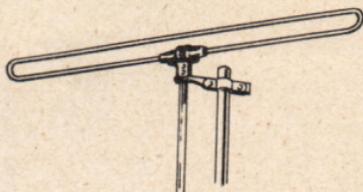
Zur praktischen Ausführung der UKW- und Fernsehantennen muß allgemein bemerkt werden, daß die große Vielfalt der Antennenformen, wie sie uns im Handel begegnet, physikalisch kaum gerechtfertigt ist. Sie ist nur zu verstehen, wenn man bedenkt, daß die Berechnung, Entwicklung und Messung solcher Antennen alles andere als einfach ist und daß auch das Bestreben, Patente anderer Antennenhersteller nicht zu verletzen, zu immer weiteren Formvarianten führt.

Die **Bilder 87 bis 91** zeigen einige markante Ausführungsformen industriell hergestellter UKW- und Fernsehantennen, die sich auch als Vorbilder für Selbstbauversuche mit den Abmessungen der Tabellen 19 bis 21 eignen. **Bild 92** zeigt eine für Einzel- wie Gemeinschaftsanlagen übliche Kombination einer LMK-Stabantenne mit einem UKW-Dipol und je einem UHF- und Bereich-III-Yagi.

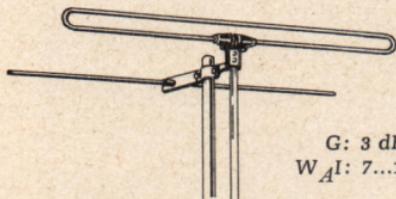
Zu der Ringantenne in Bild 89 muß noch erwähnt werden, daß sie bei UKW als magnetische, bei den längeren Wellen als statische Antenne wirkt. Ihr Kreisbogen ist nämlich bei den Anschlußstellen durch je einen sehr kleinen Kondensator unterbrochen, von denen der eine durch eine UKW-Drossel überbrückt ist. Damit ergibt sich bei UKW ein abgestimmter Rahmenkreis mit hohem L/C-Verhältnis (der durch Strahlungsdämpfung breitbandig wird) und bei längeren Wellen ein offener Drahtbogen, der zusammen mit der Ableitung als statische Antenne wirkt. Wegen ihrer Funktion als Rahmenantenne bei UKW hat sie in horizontaler Lage (weil der magnetische Vektor auf dem elektrischen senkrecht steht!) eine echte Rundcharakteristik und braucht infolgedessen nicht wie ein Dipol ausgerichtet zu werden. Daher eignet sie sich auch gut als Fensterantenne für LMKU-Empfang.



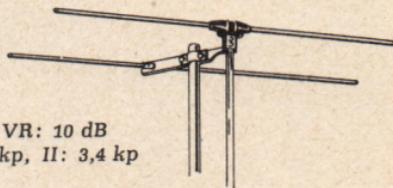
Kreuzdipol (ohne Richtwirkung)  
G: - 2 dB



Einfacher Faltdipol  
G: 0 dB;  $W_A$ I: 3,4...5,6 kp, II: 2 kp



Faltdipol mit Reflektor



Offener Dipol mit Reflektor

G: 3 dB; VR: 10 dB  
 $W_A$ I: 7...10 kp, II: 3,4 kp

Bild 87. Normale UKW-Antennen

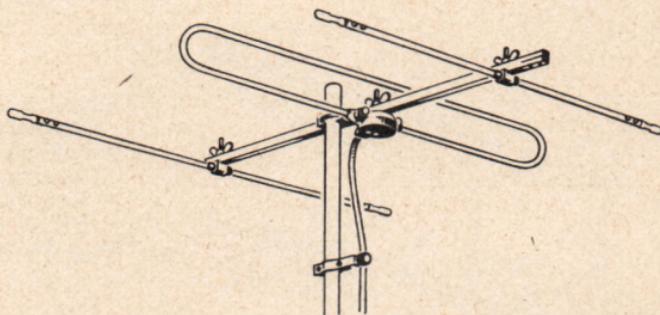


Bild 88. Einfache Fernseh-Antenne (Hirschmann)  
mit Biegeenden zur Kanalabstimmung

G: 5,5 dB; VR: z. B. 16 dB;  $W_A$ : I: 11...13,4 kp  
(II: 4,7 kp), III: 2,3...2,7 kp, IV: 1,5 kp

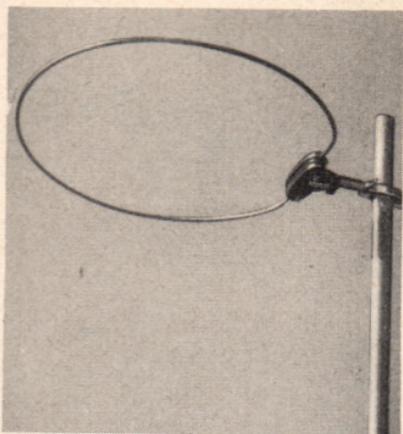
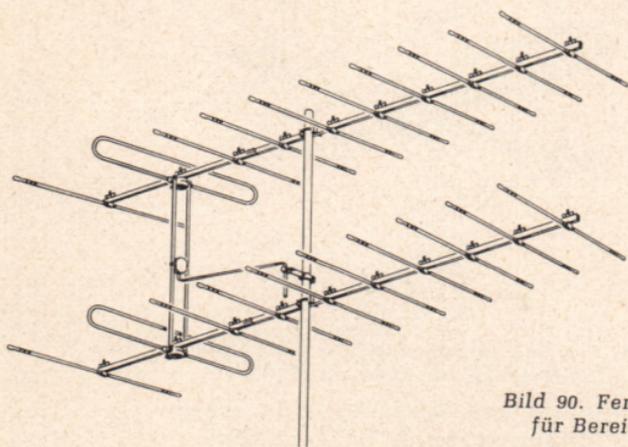
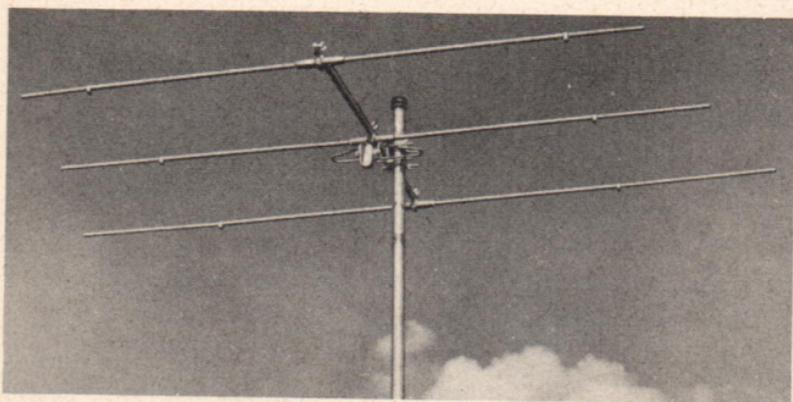


Bild 89. Universal-Ringantenne für alle Wellen, auch mit angebauter Transformationsleitung  
( $W_A = 1,1 \text{ kp}$ )

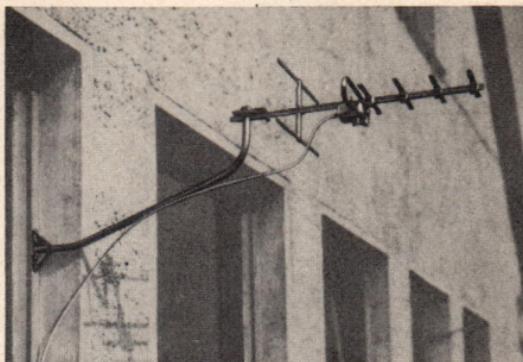
Unten: Bild 90a. Elektrisch verkürzter 3-Element-Bereich-I-Yagi (Kathrein).  
G: ca. 5 dB; VR: ca. 14 dB;  
 $W_A$  ca. 9 kp



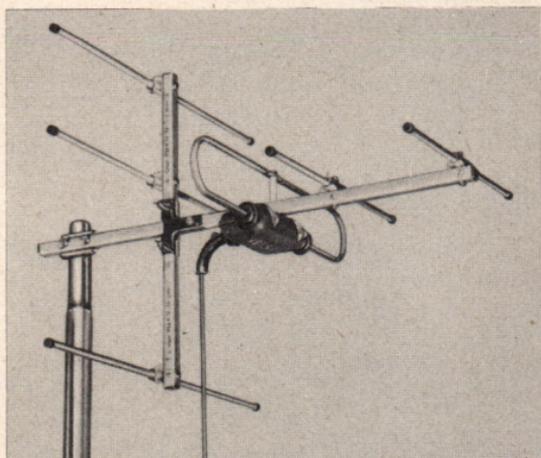
Links: Bild 90b. 2-Ebenen-Yagi für Bereich III (Hirschmann)  
G: 11,5 dB;  
VR: 20 dB;  
 $W_A$ : 14...15,4 kp

Bild 90. Fernsehantennen für Bereich I und III

7-Element-Breitband-  
Fensterantenne (Fuba  
DFA 1 L 7). G: 7,5 dB;  
VR: 21 dB;  $W_A$ : ca. 1,7 kp

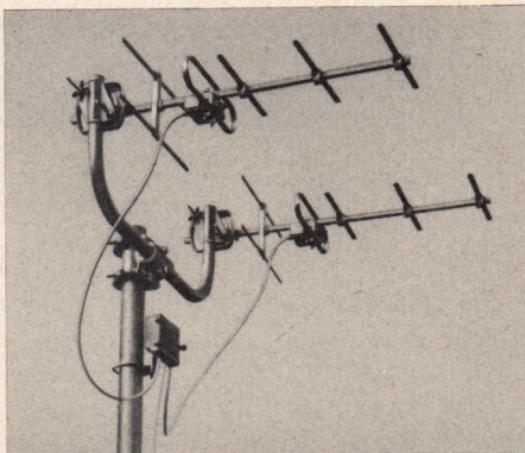


6-Element-Breitband-  
Antenne (Wisi 934).  
G: 6 dB; VR: 23 dB;  
 $W_A$ : ca. 1,5...1,7 kp



Zwei 6-Element-Mehr-  
kanal-Antennen (Fuba  
DFA 1 K 6) parallel  
montiert. G: bei klei-  
nem Abstand 10,5 dB,  
bei großem Abstand  
11,5 dB (einzeln: 9 dB);  
VR: 24 dB;  $W_A$ : ca.  
4,5 kp. Kleiner Abstand  
ergibt weniger Neben-  
zipfel (bessere Aus-  
blendung von Refle-  
xionen)

Bild 91. UHF-Antennen  
für die Bereiche IV  
und V



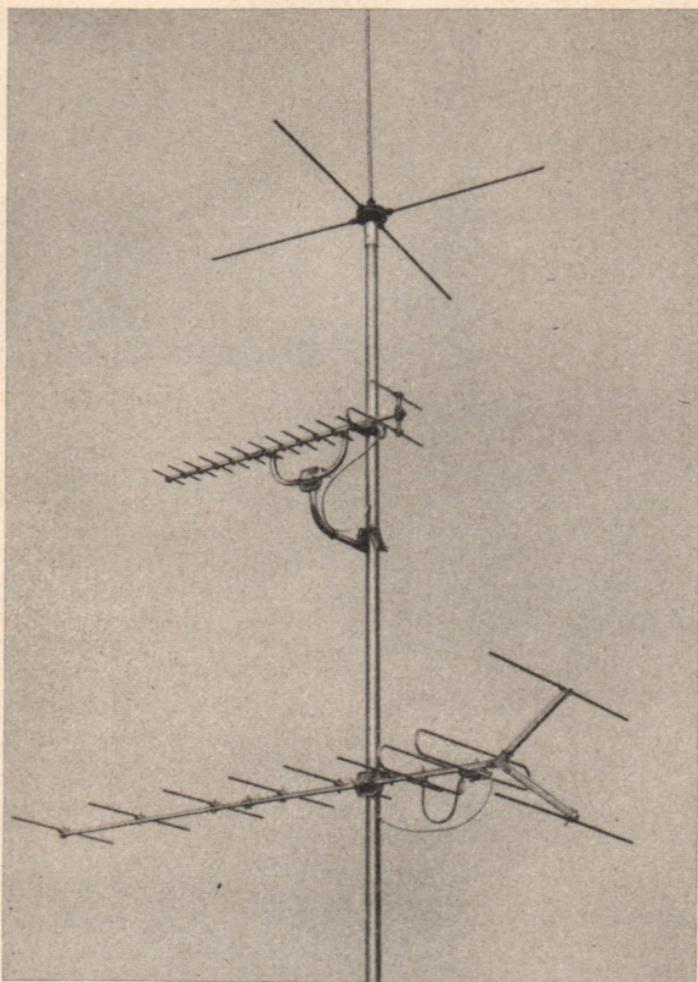


Bild 92. Gemeinschaftsantenne mit KML-Stabantenne,  
UKW-Kreuzdipol, 15-Element-Breitband-UHF-Antenne und  
10-Element-Breitband-Bereich-III-Yagi (Fuba)

## 2. Dachbodenantennen

Die Dachbodenantennen, deren gebräuchlichste Erscheinungsformen z. T. denen der Außenantennen entsprechen, haben den Vorteil, bei Empfangsleistungen, die wenig schlechter als Außenantennen und besser als Innenantennen sind, äußerlich nicht in Erscheinung zu treten und daher vom Hauswirt meist gebilligt

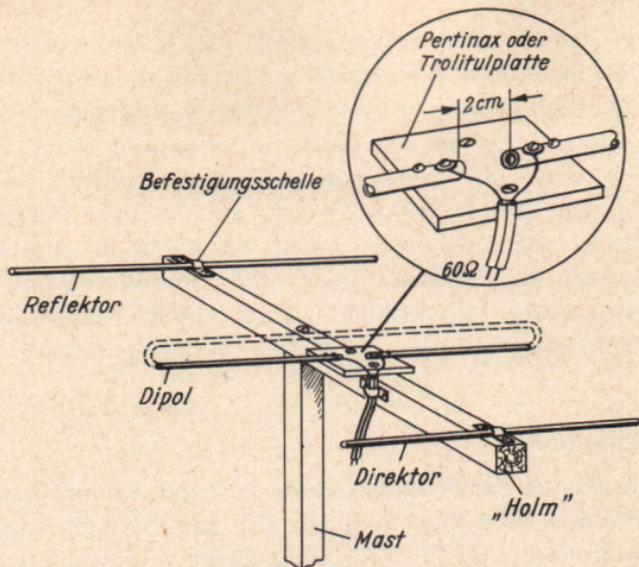


Bild 93. Selbstgebaute 3-Element-Antenne (Maße nach Tabelle 19), die sich als UKW- oder Fernseh-Dachbodenantenne und für KML-Empfang eignet. Wählt man als gespeistes Element einen Faltdipol, so muß als Empfängerzuleitung eine 240- $\Omega$ -Leitung angeschlossen werden

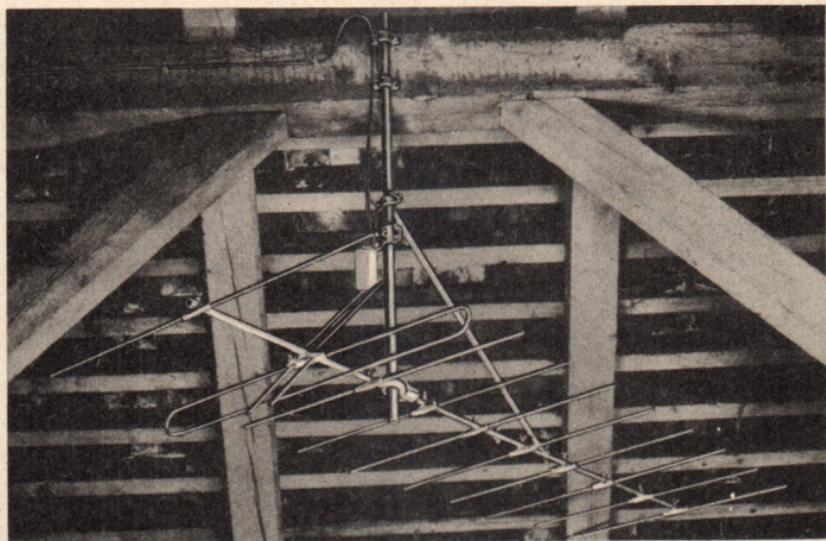
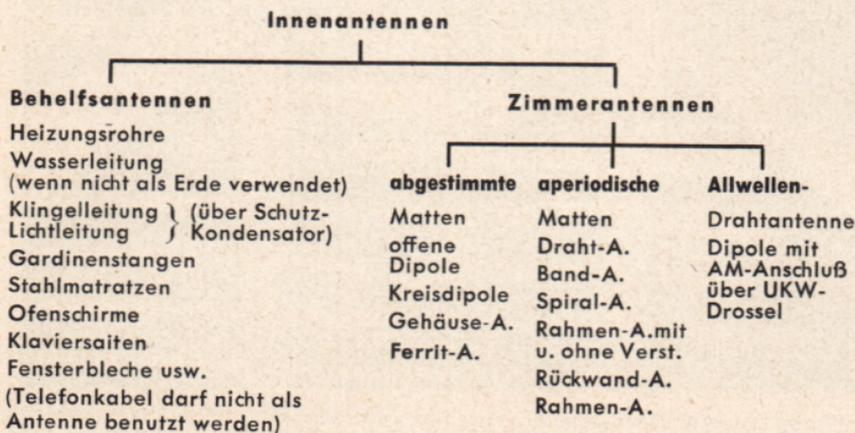


Bild 94. Fernseh-Dachbodenantenne von Kathrein, die auch für AM-Empfang mitbenutzt werden kann

zu werden. Nach einer Untersuchung von H. Schweitzer [33] können übrigens Dachbodenantennen für UKW- oder Fernsehempfang im senderabgewandten Teil des Dachbodens besseren Empfang bringen als an der senderzugewandten Seite. Natürlich können sie nur dann wirksam sein, wenn das Dach kein Metaldach ist (in diesem Fall läßt sich eine isoliert eingesetzte Metallbahn als Antenne verwenden). Für Fernseh- und UKW-Zwecke können die üblichen Außen- oder Innendipole, darunter auch selbsthergestellte (vgl. Abschnitt 15c und **Bild 93**) verwendet werden. Eine ausgesprochene Fernseh-Dachbodenantenne zeigt **Bild 94**.

### 3. Innenantennen

Auch die Klasse der Innenantennen ist sehr vielgestaltig, wie **Bild 95** erkennen läßt. Für sie lassen sich kaum allgemeingültige Regeln aufstellen, weil ihre Wirkungsweise in stärkstem Maße von den örtlichen Verhältnissen abhängig ist. Aber gerade in dieser Klasse lassen sich ohne fremde Hilfe und mit geringstem finanziellen Aufwand Versuche zur Ermittlung der günstigeren Antennenformen anstellen. Wer die nötige Geduld und Liebe aufbringt und die in diesem Buch gegebenen Richtlinien beachtet, kann auch bei ungünstigen Verhältnissen oft recht schöne Erfolge erzielen.



*Bild 95. Stammbaum der Innenantennen*

#### 4. Fahrzeugantennen (s. a. Bild 25)

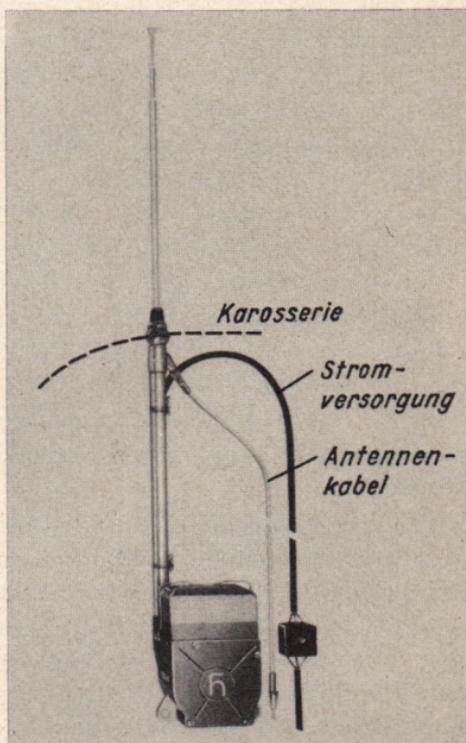
Bei den Autoantennen gibt es Ausführungsformen für die verschiedensten in- und ausländischen Wagentypen und Käuferwünsche, darunter auch solche, die wahlweise als normale Versenkantennen oder als Schlüsselantennen verwendbar sind (**Bild 96**). Ferner ist die über einen kleinen Motor (**Bild 97**) oder durch Handkurbel ausfahrbare Antenne zu erwähnen. Sie wird bei Nichtgebrauch in die Karosserie versenkt, was bei der Motorausführung automatisch mit dem Ausschalten des Empfängers geschieht.

Vielleicht sollten wir noch bemerken, daß für den Empfang auf Motor- und Fahrrädern das Fahrgestell als Antenne dienen kann, und daß man in Booten mit vom Mast abgespannten Drahtantennen (und Wassererdung) am besten „fährt“, sofern man nicht in beiden Fällen Koffergeräte mit Ferrit- bzw. Teleskopantennen bevorzugt.



Oben: Bild 96. Auto-Versenkantenne, die nach Abnehmen des Stülpknopfes zur Schlüsselantenne wird (Hirschmann)

Rechts: Bild 97. Motorbetriebene versenkbare Auto-Antenne (Hirschmann Auto 6000)



## 15. Zum Selbstbau von Antennen

### a) Allgemeine Materialfragen

Wenn wir in diesem Kapitel unter Selbstbau nicht die Montage, sondern die Anfertigung der eigentlichen Antenne verstehen, so können wir uns zunächst die Frage vorlegen, was wir mit dem Selbstbau erreichen wollen. Abgesehen vom Basteltrieb, also von der Befriedigung, mit eigenen Mitteln etwas Brauchbares geschaffen zu haben, kommt der Selbstbau eigentlich nur aus zwei Gründen in Betracht: 1. um Geld zu sparen, und 2. um eine Antennenform zu erhalten, die es käuflich nicht gibt.

Im ersten Fall ist zu überlegen, ob man wirklich beim Eigenbau sparen kann, denn das in kleinen Mengen bezogene Material kostet uns natürlich im Verhältnis mehr als der Antennenfabrik. Außerdem haben wir nicht die Bearbeitungsmöglichkeiten der Industrie, wie z. B. die der Oberflächenbehandlung (Eloxieren, Verchromen usw.) und der Verformung von Kunststoffen. Eine aus Behelfsmaterial gebaute Außenantenne ist dagegen keineswegs billiger, weil sie eine viel zu kleine Lebensdauer hat und nach manchem Ärger schließlich doch durch ein Industrieerzeugnis ersetzt werden muß.

Dafür hat der zweite Fall – Selbstbau nicht erhältlicher Antennenformen – gerade in Amateurreisen und für die Erfinder unter uns durchaus seine Berechtigung, wenn er auch bei einwandfreier Durchführung oftmals etwas teurer ist als eine industrielle Lösung. Gerade die Vielfalt der im Handel erhältlichen Antennenformen zeigt uns ja, daß die Konstruktion von Antennen keine leichte Sache ist und wir zumindest im UKW- und Fernsehgebiet keine allgemein gültige Standardform bauen können.

Wer sich Außenantennen selbst bauen will, vergesse nicht, daß diese Gebilde eine elektrische und eine mechanische Seite haben. Für beide Gesichtspunkte ist die Wetterfestigkeit der verwendeten Werkstoffe ausschlaggebend. Aus elektrischen Gründen müssen gutleitende Metalle gewählt werden, deren Verbindungen untereinander und mit der Zuleitung einwandfrei und beständig sein müssen. Sie dürfen sich also im Laufe der Zeit nicht infolge

mechanischer Erschütterungen oder chemischer Zersetzung lockern oder überhaupt nur verschlechtern. Chemische Zersetzung meidet man durch ausreichenden Abstand von Schornsteinen bzw. Rauchgasen. Die ebenso häufige elektrochemische Zersetzung (Korrosion) läßt sich weitgehend verhindern, wenn man möglichst nur gleiche Metalle miteinander verbindet – also z. B. Kupferrohr mit Kupferschrauben an Kupferlitze – und die Verbindungen durch mehrfach aufgetragene wetterfeste und möglichst elastische Lackschichten von jeder Feuchtigkeit abschließt. In vielen Fällen genügt ein Überzug der Anschlußstellen mit einem Kontaktschutzmittel (Hirschmann-Antenol).

Auch die als Träger verwendeten Bauteile sollen wetterfest sein. Holzteile müssen imprägniert werden, Eisenrohre verzinkt sein oder einen Schutzanstrich erhalten. Halte- und Abspannseile müssen aus witterungsbeständigen, lichtfesten und dehnungsarmen Werkstoffen bestehen; sie dürfen keine Knoten enthalten, und ihre Schlaufen müssen in Kauschen abgefangen werden. Spannfedern in Abspannseilen sind zu vermeiden; besser sind Spanschlösser oder Seilrollen und Gewichte. Isolatoren sind im allgemeinen als wetterbeständig anzusehen, wenn sie glasiert sind und von einem namhaften Werk stammen.

Bei Langdrahtantennen ist die Materialfrage nur in mechanischer Beziehung wichtig. Als Antennenleiter und Abspanndraht mindestens gleicher Stärke läßt sich jeder ausreichend zugfeste Draht und – soweit im Einzelfall zulässig – auch Litze verwenden. So z. B. betragen die Mindestzugfestigkeiten für Drähte oder Litzen zum Antennenbau:

bei Kupfer	40 kp/mm <sup>2</sup>
Bronze	50...66
Stahl	40...65
Stahlkupfer (30)	60

Im Freien dürfen nur Drähte mit Durchmessern über 1 mm verwendet werden, um eine Gefährdung der Vogelwelt auszuschließen [32]. Der Drahtdurchmesser bzw. die Litzenstärke richtet sich im übrigen nach der höchsten Zugkraft, die einschließlich Winddruck, Schnee- und Eisansatz auftreten kann. Sie errechnet sich nach der Formel:

$$P = \frac{G \cdot a}{8 d} + S \text{ [kp]}$$

P = Zuglast in kp

G = Gewicht der Antenne je Meter

d = Durchhang in Meter

a = Spannweite in Meter

S = Schneelast  $\approx 180 \sqrt{\text{Draht } \phi}$

Aus Sicherheitsgründen muß mit dem dreifachen Wert gerechnet werden.

Selbstverständlich ist, daß auch die übrigen zum Antennenbau benutzten Teile ausreichende Festigkeit aufweisen müssen. Sie müssen ja nicht nur das Antennengewicht tragen und im Ruhezustand entsprechende Zugkräfte aufnehmen, sondern auch die mitunter recht beträchtlichen Winddrücke und Schneelasten abfangen.

Die VDE-Bestimmungen 0855 Teil 1/9.59 beschäftigen sich ausführlich mit den Festigkeitsfragen und enthalten Kurven, aus denen für verschiedene Rohrdurchmesser und -wandstärken die zulässigen freien Längen der Antennenträger abzulesen sind, wenn das zur Berechnung der Windlast benötigte und von den Herstellern für ihre Antennen anzugebende Produkt  $c \cdot F_A$  be-

Tabelle 17. Zulässige freie Längen (in m abgerundet)  
für Rohrmaste aus nahtlosen Flußstahlrohren nach DIN 2448 (St 35.29)  
(Verbindliche Werte sind dem Bild 2 der VDE-Bestimmungen 0855, Teil 1/9. 59  
zu entnehmen.)

Zulässige Windlast $W_A$ [kp]	Rohrgrößen Durchmesser/Wandstärke in mm									
	18/2	22/2	26/2	30/2	41,5/2,5	51/2,5	54/2,5	60/3	76/3	90/3,5
1	1,75	2,8	3,15	4,0	5,0	5,8	6,0	7,0	8,0	9,9
2	1,6	2,45	2,75	3,65	4,7	5,55	5,8	6,8	7,8	9,75
3	1,4	2,1	2,4	3,25	4,35	5,25	5,55	6,6	7,7	9,55
4	1,2	1,8	2,15	2,85	4,15	5,0	5,3	6,3	7,45	9,3
5	—	1,55	1,85	2,65	3,8	4,75	5,15	6,15	7,3	9,2
6	—	1,3	1,65	2,4	3,7	4,6	4,85	5,85	7,15	9,0
7	—	1,2	1,45	2,25	3,45	4,35	4,75	5,7	7,0	8,8
8	—	1,0	1,35	2,0	3,3	4,25	4,5	5,5	6,75	8,75
9	—	—	1,25	1,8	3,15	4,05	4,3	5,3	6,7	8,65
10	—	—	1,15	1,7	2,9	3,85	4,2	5,2	6,5	8,45
20	—	—	—	1	1,8	2,7	3,0	3,8	5,3	7,35

kannt ist. Einige, diesen Kurven entsprechende Werte sind in **Tabelle 17** aufgeführt. Für Antennen und Antennenträger mit einer gesamten freien Länge von höchstens 10 m und einer größten Windfläche von 0,25 m<sup>2</sup> werden ein Staudruck von 70 kp/m<sup>2</sup> und ein mittlerer Beiwert  $c = 1$  angesetzt, woraus sich für Antennengebilde mit runden Querschnitten eine Windlast von  $F \cdot 70 \text{ kp/cm}^2$  ergibt. Solche Gebilde dürfen bis zu 40 m über Erdboden (10 m auf über 40 m hohen Gebäuden) verwendet werden.

Wenn bei der Befestigung des Antennenträgers Einspannmomente (etwa gleich gesamte Windlast  $\times$  Rohrlänge) von über 50 mkp auftreten können, so muß die ausreichende Festigkeit des Bauteils, an dem die Antenne befestigt werden soll, nachgewiesen werden [32].

## b) Langdrahtantennen

Bei Drahtantennen beschränkt sich der Selbstbau auf die richtige Bemessung der Drahtlänge, auf die Befestigung des eigentlichen Antennendrahtes an den Isolatoren und auf den Anschluß der Zuleitung (bevor die Antenne aufgezogen wird). Beim Abmessen der Länge muß man daran denken, daß die Antenne ja einen gewissen Durchhang haben muß, um einen Teil der Windkräfte abzufangen und Längenänderungen durch Temperaturabhängigkeit auszugleichen. Einen Anhaltspunkt für den richtigen Durchhang gibt **Tabelle 18**.

Tabelle 18. Mindest-Durchhang bei Langdrahtantennen<sup>1)</sup>

Spannweite m	Durchhang in cm bei Temperaturen von							
	-40	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40 °C
20	3	5	7	9	13	18	22	27
30	8	11	14	18	24	30	37	43
40	13	19	24	30	37	45	52	60

<sup>1)</sup> Gilt für Antennendrahte aus allen gängigen Drahtmetallen (aufgestellt für Kupfer, das den größten Durchhang erfordert, mit dreifacher Sicherheit bei -40 °C).



Bild 98. Quetsch- oder Würgehülsen für dauerhafte Drahtverbindungen (Hirschmann)

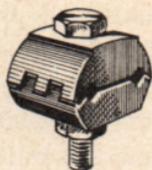


Bild 99. Antennen-Schraubklemme, sogenannte 'Krallenklemme'

Bei der Befestigung des Antennendrahtes und der Abspanndrähte an den Isolatoren und bei der Verbindung der Ableitung mit dem eigentlichen Antennendraht genügt keineswegs ein Verdrehen oder Verknoten der Drahtenden. Vielmehr müssen hier entweder Quetschhülsen (**Bild 98**) benutzt werden, die jedoch Spezialwerkzeug erfordern, oder besser Antennenklemmen (**Bild 99**), deren Schrauben durch Kontermuttern gegen Lockerung gesichert werden. Die Isolatoren müssen ausreichende Festigkeit besitzen und dürfen bei Antennen, deren Zerreißen Schäden verursachen kann, nur auf Druck beansprucht werden (Eierkette).

Drahtantennen für Innenmontage brauchen nicht Witterungseinflüssen zu widerstehen und sind daher viel leichter zu erstellen. Aus Bequemlichkeitsgründen wird man hier die preiswerten Taschenpackungen oder Bausätze verwenden, die vom Bananenstecker bis zu den Isolatoren alles enthalten, was man dazu braucht.

### c) UKW- und Fernsehantennen

Da die Antennen für UKW-Empfang und Fernsehen abgestimmte Gebilde sind, richten sich ihre Abmessungen nach dem Frequenzbereich, den sie empfangen sollen. Für offene und Faltdipole sind die entsprechenden Abmessungen in den **Tabellen 19** bis **21** aufgeführt, die auch Richtwerte für Reflektoren und Direktoren bei günstigen Abständen der Elemente voneinander angeben. Die Bezeichnungen der Tabellen entsprechen denen der Maßskizze **Bild 100**.

Für den Bau von Außenantennen brauchen wir außer dem Material für die eigentliche Antenne noch ein der Windlast und der Montagehöhe entsprechendes nahtloses Flußstahlrohr nach Tabelle 17 als Antennenträger und wetterfestes Isoliermaterial zur Verbindung dieser Teile untereinander. UKW- und Fernseh-

(Fortsetzung Seite 153)

## **Anmerkungen zu den Tabellen 19 bis 21 (Seite 150 bis 152):**

Die in den Tabellen 19 bis 21 angegebenen Maße sind Rechenwerte, die für den Selbstbau zugrunde gelegt werden können, wenn als Elemente Aluminiumrohre oder -stäbe mit den angegebenen Durchmessern gewählt werden, die unisoliert (in Bohrungen oder mit Schrauben) an Aluminium-Trägerrohre von beispielsweise 20 mm Durchmesser oder 10 mm × 20 mm Querschnitt befestigt werden. Da die elektrischen Daten selbstgebaute Antennen um so mehr von Zufälligkeiten des praktischen Aufbaus abhängig sind, je höher die Betriebsfrequenz ist, können keine Maße für Mehrkanalantennen im Bereich V angegeben werden.

Bei Bereich-IV-Antennen kann es aus den gleichen Gründen erforderlich sein, eine unzureichende Anpassung (Plastik des Bildes!) durch Parallelschalten versuchsweise zu ermittelnder kleiner Induktivitäten (z. B. 10...15 Windungen 0,6 CuL-Draht, ohne Abstand auf 2,5-mm-Dorn gewickelt) zu den Dipolklemmen zu verbessern.

Zur Wahl der Elementezahl ist zu bedenken, daß der Spannungsgewinn allgemein mit zunehmender Antennenlänge (= Abstand zwischen Reflektor und vorderstem Direktor) und für eine gegebene Antennenlänge mit der Zahl der Direktoren zu steigen pflegt, wobei jedoch – wiederum bei gegebener Antennenlänge – wenig Direktoren mit großen Abständen die Bandbreite der Antenne einengen. Ungleichmäßige Direktorabstände bei Industrieantennen dienen der Unterdrückung von Nebenzipfeln im Antennendiagramm; sie sind rechnerisch nicht zu erfassen und können im Selbstbau ohne entsprechenden Meßaufwand nicht verwirklicht werden.

Bei Anpassungsschwierigkeiten mit vielelementigen Yagi-Antennen (zu geringer Fußpunktwideerstand) kann der Einbau eines Mittelleiters doppelter Stärke in den Faltdipol (vgl. Bild 63) oder das Einschalten einer Transformationsleitung (vgl. Bild 116) eine spürbare Verbesserung bringen.

UHF-Yagis müssen mit dem Reflektorende des Antennenholms am Mast bzw. Antennenträger montiert werden, weil ein durch die Direktoren geführter metallischer Träger die Antennenfunktion erheblich beeinträchtigen kann. Sehr lange Yagis erhalten zweckmäßig einen besonderen Haltebügel unterhalb des Holms, mit dessen Hilfe sie auf das freie Ende des Rohrmastes aufgesetzt werden, wie es bei entsprechenden Industrieantennen üblich ist.

Tabelle 19. Abmessungen von Yagi-Antennen für die Bereiche I bis III (alle Maße in cm; vgl. Bild 100)

Be- reich	Kanal Nr.	Frequenz- umfang MHz	Reflektor		Dipol		1. Direktor		2. Direktor		3. Direktor		Weitere Direktor.		Leiterdurchm.	
			Länge r	Ab- stand von Dipol b	Länge l	Öf- f- nung a	Länge s	Ab- stand von Dipol c	Länge t	Ab- stand von 1. Dir. d	Länge (t)	Ab- stand v. 2. Dir. (d)	Länge je- weils kürzer	Ab- stand vom letzt. Dir.	Di- pol	Refl. und Dir.
I	2	47-54	298	119	284	6...8	269	90	-	-	-	-	-	-	1	1
	3	54-61	262	105	249	6...8	236	79	-	-	-	-	-	-	1	1
	4	61-68	233	93	222	6...8	210	70	-	-	-	-	-	-	1	1
	2-4	47-68	305	30	251	6	244	60...80	-	-	-	-	-	-	1,2	1,2
II	2-56	87,5-104	161	64	152	6,5	143	32	141	39	-	-	-	-	0,7 ...1	0,7 ...1
III	2-m- Band	145	105	48	99	2,5	93,5	20...25	91,5	20...25	90	20...25	1,5 cm	20...25	0,8 +0,2	0,3
III	5	174-181	82,5	33	78,4	5...7	75	25,3	74	30,5	73	33,8	1 cm	33,8	0,6 bis 1	0,6 bis 1
	6	181-188	79	32,5	75,4	5...7	72	24,4	71	28,5	70	32,5	1 cm	32,5		
	7	188-195	76,5	31	72,6	5...7	69	23,5	68	27,5	67	31,4	1 cm	31,4		
	8	195-202	74	30	70,3	5...7	67	22,7	66	26,5	65	30,3	1 cm	30,3		
	9	202-209	71,5	29	68	5...7	65	22	64	25,6	63	29,3	1 cm	29,3		
	10	209-216	69	28	65,6	5...7	63	21,2	62	24,7	61	28,3	1 cm	28,3		
	11	216-223	67	27	63,6	5...7	61	20,5	60	24	59	27,4	1 cm	27,4		
	12	223-230	65	26	62	5...7	59,5	20	58	23	57	26,8	1 cm	26,8		
	5-11	174-223	76	30	73	4...6	60,5	16	59	17,5	58	19	1 cm	19		

Tabelle 20. Abmessungen von Yagi-Antennen für den Bereich IV (alle Maße in cm; vgl. Bild 100)

Kanal Nr.		Frequenz- umfang MHz	Reflektor(en)			Dipol		1. Direktor		2. Dir.	3. Dir.	Weitere Direktoren		Leiterdurchmesser	
vor	nach		Länge r	Abstand		Länge l	Öff- nung a	Länge s	Ab- stand vom Dipol c	Länge t	Länge (t)	Länge jeweils kürzer:	Ab- stand vom letz- t. Dir.	Dipol	Ref- l. und Dir.
1. 9. 1962				vom Dipol b	vonein- ander *)										
14	21	470—478	31	10,7	28,4	28,4	4	24,5	12,6	24,2	23,9	3 mm	12,6	0,8	0,6
15	22	478—486	30,4	10,6	28,0	28,0	4	24,1	12,4	23,8	23,5	3 mm	12,4	0,8	0,6
16	23	486—494	30,0	10,4	27,5	27,5	4	23,7	12,2	23,4	23,1	3 mm	12,2	0,8	0,6
17	24	494—502	29,6	10,3	27,2	27,1	4	23,4	12,1	23,1	22,8	3 mm	12,1	0,8	0,6
18	25	502—510	29,1	10,1	26,7	26,7	4	23,0	11,9	22,7	22,4	3 mm	11,9	0,8	0,6
19	26	510—518	28,6	9,9	26,4	26,3	4	22,6	11,7	22,3	22,0	3 mm	11,7	0,8	0,6
20	27	518—526	28,1	9,8	25,9	25,8	4	22,2	11,5	22,1	21,7	3 mm	11,5	0,8	0,6
21	28	526—534	27,7	9,6	25,5	25,4	4	21,9	11,3	21,7	21,3	3 mm	11,3	0,8	0,6
22	29	534—542	27,2	9,5	25,1	25,0	4	21,5	11,2	21,3	21,0	3 mm	11,2	0,8	0,6
23	30	542—550	26,7	9,3	24,6	24,6	4	21,1	11,0	20,8	20,6	3 mm	11,0	0,8	0,6
24	31	550—558	26,4	9,2	24,4	24,3	4	20,9	10,8	20,6	20,4	3 mm	10,8	0,8	0,6
25	32	558—566	26,0	9,1	24,0	23,9	4	20,6	10,7	20,3	20,1	3 mm	10,7	0,8	0,6
26	33	566—574	25,6	9,0	23,7	23,5	4	20,3	10,5	20,0	19,8	3 mm	10,5	0,8	0,6
27	34	574—582	25,3	8,8	23,4	23,3	4	20,0	10,4	19,8	19,5	3 mm	10,4	0,8	0,6
28	35	582—590	24,9	8,7	23,0	22,9	4	19,7	10,2	19,5	19,2	3 mm	10,2	0,8	0,6
29	36	590—598	24,5	8,6	22,7	22,6	4	19,4	10,0	19,1	18,9	3 mm	10,0	0,8	0,6
30	37	598—606	24,2	8,5	22,4	22,3	4	19,1	9,8	18,9	18,7	3 mm	9,8	0,8	0,6
14/20	21/27	470—526	32,0	12,1	30,0	30,0	4	24,5	8,5	24,3	24,0	3 mm	8,5	0,8	0,6/0,8
18/24	25/32	502—558	30,0	11,3	28,0	28,0	4	23,0	8,0	22,8	22,5	3 mm	8,0	0,8	0,6/0,8
21/27	28/34	526—582	28,8	10,9	27,0	26,8	4	22,1	7,7	21,9	21,6	3 mm	7,7	0,8	0,6/0,8
24/30	31/37	550—606	27,6	10,5	26,0	25,6	4	21,1	7,3	20,9	20,6	3 mm	7,3	0,8	0,6/0,8

\*) Abstand der Reflektoren senkrecht zur Antennenachse, wenn statt einem Reflektor wie in Bild 100 zwei Reflektoren verwendet werden sollen. Kanal 29 bzw. 36 ist für Navigationsfunkdienste reserviert.

Tabelle 21. Abmessungen von Yagi-Antennen für den Bereich V (alle Maße in cm; vgl. Bild 100)

Kanal-Nr.		Frequenz- umfang MHz	Reflektor(en)			Dipol		1. Direktor		2. Dir.	3. Dir.	Weitere Direktoren		Leiterdurchmesser	
vor	nach		Länge r	Abstand		Länge l	Öf- fung a	Länge s	Ab- stand vom Dipol c	Länge t	Länge (t)	Länge jeweils kürzer:	Ab- stand vom letz- t. Dir.	Dipol	Ref- l. und Dir.
1. 9. 1962				vom Dipol b	vonein- ander *)										
31	38	606-614	23,9	8,4	22,1	22,0	4	18,8	9,7	18,6	18,4	2 mm	9,7	0,8	0,6
32	39	614-622	23,6	8,3	21,8	21,7	4	18,5	9,6	18,3	18,1	2 mm	9,6	0,8	0,6
33	40	622-630	23,3	8,2	21,5	21,4	4	18,3	9,5	18,1	17,9	2 mm	9,5	0,8	0,6
34	41	630-638	23,0	8,1	21,2	21,1	4	18,1	9,4	17,9	17,7	2 mm	9,4	0,8	0,6
35	42	638-646	22,7	8,0	20,9	20,8	4	17,9	9,3	17,7	17,5	2 mm	9,3	0,8	0,6
36	43	646-654	22,4	7,9	20,7	20,5	4	17,7	9,2	17,5	17,3	2 mm	9,2	0,8	0,6
37	44	654-662	22,1	7,8	20,5	20,2	4	17,5	9,1	17,3	17,1	2 mm	9,1	0,8	0,6
38	45	662-670	21,8	7,7	20,2	19,9	4	17,3	9,0	17,1	16,9	2 mm	9,0	0,8	0,6
39	46	670-678	21,5	7,6	19,9	19,6	4	17,1	8,9	16,9	16,7	2 mm	8,9	0,8	0,6
40	47	678-686	21,2	7,5	19,7	19,4	4	16,9	8,8	16,7	16,5	2 mm	8,8	0,8	0,6
41	48	686-694	20,9	7,4	19,5	19,2	4	16,7	8,7	16,5	16,3	2 mm	8,7	0,8	0,6
42	49	694-702	20,6	7,3	19,3	19,0	4	16,5	8,6	16,3	16,1	2 mm	8,6	0,8	0,6
43	50	702-710	20,4	7,2	19,1	18,8	4	16,3	8,5	16,1	15,9	2 mm	8,5	0,8	0,6
44	51	710-718	20,2	7,1	18,9	18,6	4	16,1	8,4	15,9	15,7	2 mm	8,4	0,8	0,6
45	52	718-726	20,0	7,0	18,7	18,4	4	15,9	8,3	15,7	15,5	2 mm	8,3	0,8	0,6
46	53	726-734	19,9	6,9	18,5	18,2	4	15,7	8,2	15,5	15,3	2 mm	8,2	0,8	0,6
47	54	734-742	19,8	6,9	18,3	18,0	4	15,5	8,1	15,3	15,1	2 mm	8,1	0,8	0,6
48	55	742-750	19,6	6,8	18,1	17,8	4	15,3	8,0	15,1	14,9	2 mm	8,0	0,8	0,6
49	56	750-758	19,4	6,8	17,9	17,6	4	15,2	7,9	15,0	14,8	2 mm	7,9	0,8	0,6
50	57	758-766	19,2	6,7	17,7	17,4	4	15,1	7,9	14,9	14,7	2 mm	7,9	0,8	0,6
51	58	766-774	19,0	6,6	17,5	17,2	4	15,0	7,8	14,8	14,6	2 mm	7,8	0,8	0,6
52	59	774-782	18,8	6,6	17,3	17,0	4	14,9	7,8	14,7	14,5	2 mm	7,8	0,8	0,6
53	60	782-790	18,6	6,5	17,2	16,8	4	14,8	7,7	14,6	14,4	2 mm	7,7	0,8	0,6

\*) Abstand der Reflektoren senkrecht zur Antennenachse, wenn statt einem Reflektor wie in Bild 100 zwei Reflektoren verwendet werden sollen. Kanal 31 bzw. 38 ist für Astronomie-Funkdienste reserviert.

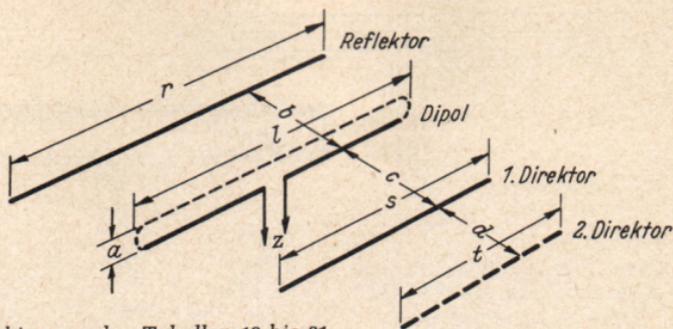


Bild 100. Maßskizze zu den Tabellen 19 bis 21

Yagi-Antennen erhalten zweckmäßig auch metallische Trägerholme (Aluminiumprofile), die zur Aufnahme der parasitären Elemente durchbohrt werden, wenn diese Elemente nicht ebenso wie der Faltdipol unmittelbar mit dem Holm verschraubt werden sollen. Dabei müssen alle Berührungspunkte zwischen verschiedenen Metallen einen Korrosionsschutz erhalten (vgl. S. 145).

Anders ist es bei Innenantennen, die ja weder mechanischen noch sonstigen meteorologischen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Hier sind auch in ausreichender Vielfalt Isolierstoffe erhältlich, die leicht bearbeitbar sind (Hartpapiere), sich aber z. T. wegen mangelnder Wetterfestigkeit nicht für Außenantennen eignen würden. Einige Beispiele für selbstgebaute UKW-Antennen zeigen die **Bilder 101** und **102**, nach denen mit Hilfe der Tabellen 19 bis 21 auch Innenantennen für alle angegebenen Frequenzen (Kanäle) gebaut werden können. Für Versuchszwecke und unter ungünstigen Empfangsverhältnissen wird man eine

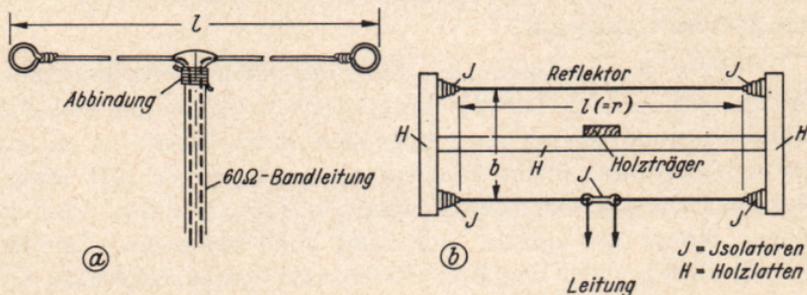
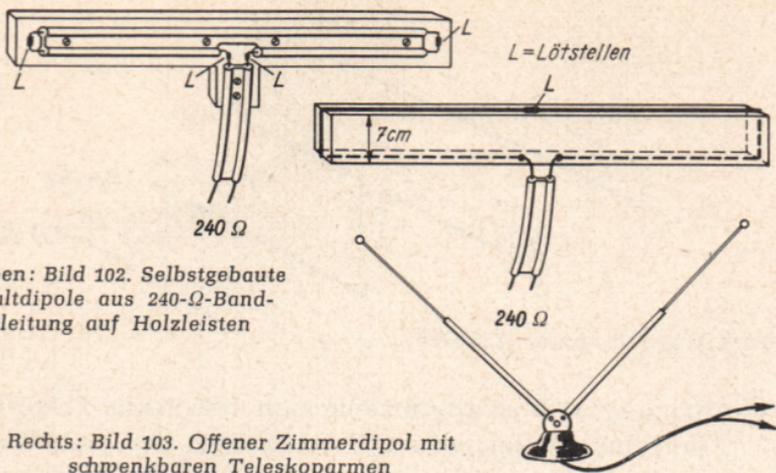


Bild 101. Selbstgebaute offene Dipole  
 a) aus 60- $\Omega$ -Leitung gerissen, b) aus 240- $\Omega$ -Leitung gerissen, mit Reflektor



Oben: Bild 102. Selbstgebaute Faltdipole aus 240-Ω-Bandleitung auf Holzleisten

Rechts: Bild 103. Offener Zimmerdipol mit schwenkbaren Teleskoparmen

weitgehend verstellbare Innenantenne vorziehen, wie sie in **Bild 103** skizziert ist. Sie besteht aus zwei schwenkbaren und ausziehbaren Armen, so daß sich eine gute Anpassung an die Nahfeldverhältnisse und den Eingangswiderstand des Empfängers (über 240-Ω-Kabel) erreichen läßt. Eine derartige Antenne läßt sich auch leicht selbst herstellen, wenn man zwei gegeneinander schwenk- oder verdrehbare Isolierstücke mit einfachen Buchsen ausrüstet, in die Koffer-Teleskopantennen mit Steckern (z. B. Hirschmann Kofa 400) passen. Mit einer solchen Antenne läßt sich ein Frequenzbereich von etwa 63...375 MHz überbrücken, wenn man keine besonderen Forderungen an besten Wirkungsgrad und Richtcharakteristik stellt. Gegebenenfalls ist die Anpassung durch Parallelschalten einer kleinen Induktivität (vgl. S. 149 und 155) zu verbessern.

Es bleibt der Findigkeit des einzelnen überlassen, herauszufinden, wie weit er selbstgebaute UKW-Antennen für den Allwellenempfang ausnutzen kann. Man kann hierfür z. B. sogenannte Weichen (siehe Firmenkataloge) benutzen. Oft genügt für den UKW-Empfang eines nahen Senders ein einige Wellenlängen langer Einzeldraht, der dann ohne besondere Vorkehrungen auch für den Empfang längerer Wellen ausreichende Antennenspannungen bereitstellt. Dagegen ist die Methode, mittels  $\lambda/4$ -Bandleitungen (Weichen) oder Drosseln Dipole für AM-

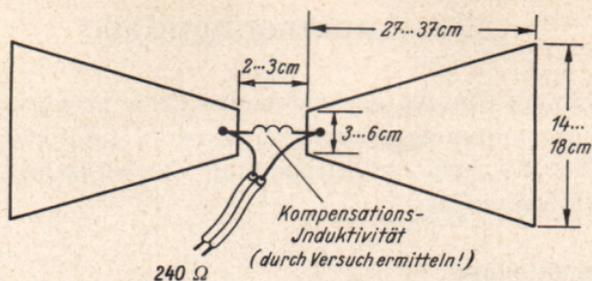


Bild 104. Richtmaße für Gehäuseantennen aus Metallfolien (gültig für Bereich II; Maße für andere Bereiche durch Versuch ermitteln, vgl. Bild 51)

Empfang mitzubedenken, bei Innenantennen meist nicht zufriedenstellend. Es ist dann schon besser – wenn man auf Innenantennen angewiesen ist – für die längeren Bereiche eine besondere Draht- oder Behelfsantenne heranzuziehen. Das gleiche gilt in allen Fällen, wo für den UKW-Empfang eine Gehäuseantenne ausreicht. Der Selbstbau solcher Gehäuseantennen verlangt stets einige Versuche, weil sich ihr elektrisches Verhalten nach den Gehäuseabmessungen und der Metallmasse des Gerätes richtet. Man kann jedoch von industriellen Vorbildern ausgehen und kommt dann oft mit kleinen Änderungen aus. Besonders einfach ist in dieser Beziehung die Folienantenne (**Bild 104**), deren Flächen man leicht versuchsweise zusammenfalten kann, ohne jedesmal eine neue Form herstellen zu müssen, wie das bei den Gehäusedipolen aus Bandleitungen erforderlich ist.

Abschließend soll nochmals daran erinnert werden, daß Innen- und Behelfsantennen immer den letzten Ausweg darstellen sollen, wenn eine Außenantenne nicht erstellt werden kann. Als Regelfall kommen sie nur bei wirklich überdurchschnittlichen Feldstärken und Beschränkung auf Ortsempfang in Betracht.

## 16. Antennenmontage

Unabhängig von den nachstehenden Erläuterungen sei auf die ausführlichen Montageanweisungen der verschiedenen Firmen verwiesen, die man zur Vermeidung von Mißerfolgen genauestens befolgen sollte.

### a) Außenantennen

Einer der wichtigsten Grundsätze bei der Montage von Außen-, insbesondere von Dachantennen ist, nie ohne sachkundigen, schwindelfreien Helfer zu arbeiten und auch nicht auf die nötigen Sicherheitsvorkehrungen (Anseilen, Leiterverankerung usw.) zu verzichten<sup>1)</sup>. Wenn man nur selten einmal eine Antenne errichtet, so kann es nichts schaden, wenn man vorher auf einem Stück Papier jeden Arbeitsgang der Montage skizziert und sich dabei die erforderlichen Kleinteile und das benötigte Werkzeug aufschreibt. Man ist dann sicher, nichts vergessen zu haben, und spart sich unter Umständen viel Ärger. In den seltenen Fällen, wo ein Mast im gewachsenen Boden errichtet werden muß, wendet man sich besser an das Fachunternehmen, von dem man den Mast bezieht, weil dieses meist – angefangen von der vorschriftsmäßigen Imprägnierung bis zur Aufstellung des Mastes – über die nötigen Erfahrungen und Arbeitskräfte verfügt. Dabei ist zu überlegen, ob man die Antenne schon vorher einseitig am Mast befestigen kann, oder ob das erst nach dem Aufstellen (Steigeisen!) geschehen kann. Bei Langdrahtantennen wird man fast immer noch vor dem Aufziehen (mittels einer vom Dach her abgelassenen und am Abspannseil befestigten Leine) der Antenne die Ableitung an dem einen Ende (L-Antenne) bzw. in der Mitte (T-Antenne) des Antennendrahtes ansetzen, wozu die schon erwähnten Antennenklemmen verwendet werden sollten.

Den weitaus größten Anteil bei modernen Außenantennen stellen Stabantennen und Dipole für UKW- und Fernsehempfang, Antennenformen also, die im allgemeinen mit einem einzelnen Tragrohr auskommen und bei üblichen fabrikmäßigen

---

<sup>1)</sup> Im Jahre 1959 verunglückten 117 Elektriker bei der Montage von Fernseh-Dachantennen, davon zwei tödlich!

Bild 105a. Befestigung des Tragrohres einer Mastantenne am Dachgebälk

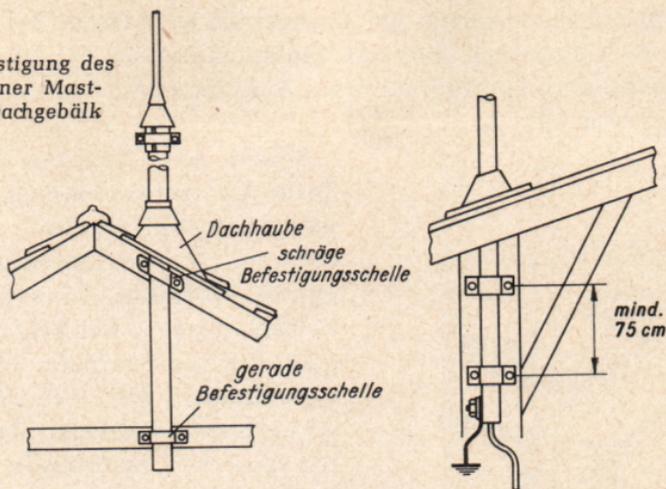
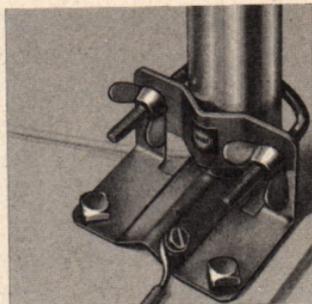


Bild 105b. Wisi-Mastfuß zum Abfangen von Rohrmasten auf Querbalken und Böden, mit Kabeldurchlaß und Erdungsschraube



Längen auch keine Abspannungen benötigen. Allerdings kann es auch bei kurzen Tragrohren für Fernsehantennen in reflexionsreichen Gegenden ratsam sein, Abspannungen vorzusehen, um das Schwanken der Antenne im Wind zu mindern und dadurch Bildfehler zu vermeiden.

Wesentlich für gute Standfestigkeit solcher Antennen ist aber schon die Befestigung ihres Tragrohres. Wo es irgend möglich ist, sollte man das Dachgebälk, wie in **Bild 105** angedeutet, hierfür heranziehen. Dabei muß man natürlich Befestigungsmittel (z. B. Bandschellen) wählen, die zuverlässig das Antennengewicht und die auf den Antennenträger übertragenen Windkräfte aushalten. Sie müssen einen Mindestabstand von 10 % der Gesamtlänge des Antennenträgers (Rohrmast) haben, mindestens jedoch

75 cm bei Montage am Dachgebälk und 50 cm bei Befestigung am Mauerwerk. Für das Einbetonieren in Flachdächer gibt es besondere Flachdachfüße zur Aufnahme und Zentrierung üblicher Rohrmaste [45].

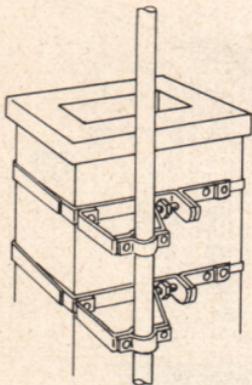


Bild 106. Schornsteinbänder

Sollen das Tragrohr oder andere Teile der Antennenanlage an Mauerwerk befestigt werden, so darf das nach den Vorschriften nicht durch Eingipsen geschehen, sondern nur durch Einzementieren. Bei Schornsteinen ist auch das nicht erlaubt, weil hier der Querschnitt des Mauerwerks geschwächt werden kann. Daher ist auch das einfache Umschlingen des Schornsteins durch Abspannseil nicht gestattet, weil hier der ständige Antennenzug zusammen mit den stoßweise auftretenden Windkräften Einschnitte in die Schornsteinwandung verursacht. Hier verwendet man zweckmäßig passende Eisenbänder mit Rohrklammern, die den Schornstein umfassen (Bild 106) und durch Schraubenspannung geschlossen werden können, vorausgesetzt, daß der Schornstein von der zuständigen Stelle (Baupolizei, Bezirksschornsteinfegermeister) überhaupt für die Antennenmontage freigegeben wurde. Im übrigen soll die eigentliche Antenne einen Abstand von mindestens 2 m von der Schornsteinmündung haben.

Zwischen zwei an einem Antennenträger (Rohrmast) montierten Antennen für verschiedene Empfangsbereiche soll ein Abstand von mindestens 1 m eingehalten werden. Wegen der Abstände zwischen den Ebenen einer Mehrebenenantenne siehe Kapitel 11.

### 1. Blitzschutz der Antennenstützpunkte

Außer dem Überspannungsschutz der Ableitung und unabhängig von der Empfängererdung muß auch der Antennenträger in den Blitzschutz einbezogen werden. Tragrohre werden mit dem Blitzableiter verbunden oder – falls dieser fehlt – über einen mindestens 8 mm starken verzinkten Eisendraht mit einer

einwandfreien Erdung (s. 17e) verbunden. Hölzerne Antennen-träger und freistehende Maste über 3 m Länge erhalten einen mindestens 3 mm starken Erdungsdraht aufgenagelt, der ebenfalls mit Erde oder Blitzableiter verbunden wird. Dabei sind die im Abschnitt 17e gegebenen Richtlinien zu beachten. In Zweifels-fällen ist es besser, einen Sachverständigen für Blitzableiter um Rat zu fragen, als eine Haftbarmachung wegen unsachgemäßer Ausführung zu riskieren. Übrigens verlasse man sich nicht dar-auf, daß andere Metallrohre geerdet sind. So dürfen z. B. Trag-rohre für Starkstromleitungen auf Dächern nicht geerdet sein. Sie werden über eine offene (3 cm) oder gedeckte (1 cm) Funken-strecke zum Blitzableitersystem hin gesichert [35]. Alle anderen metallischen Stützen wie Schornsteinbänder, Isolatorenträger usw. werden zweckmäßig in das Blitzableitersystem einbezogen.

## 2. Ausrichten von UKW- und Fernsehantennen

Bekanntlich ist die Lage von UKW-Antennen im Raum und in bezug auf die Lage des Senders nicht gleichgültig. Bei den kurzen Wellenlängen von drei Metern und weniger gibt es auf der Erd-oberfläche zahlreiche natürliche und künstliche Unebenheiten, die Ausdehnungen von mehreren Wellenlängen haben und daher reflektierend oder zumindest beugend wirken können. Besonders in Städten sind folglich stehende Wellen gar nicht selten, bei denen bekanntlich längs der Strecke einer Wellenlänge zwei Extremwerte von drei Nullstellen eingeschlossen werden. Dies erklärt insbesondere bei Innenantennen die Tatsache, daß sich die Empfangsverhältnisse von Meter zu Meter erheblich ändern können. Ähnliches gilt für nicht freigelegene Dächer und be-sonders für Fenster und Hauswände als Montageort für Fenster-antennen, bei denen auch der Abstand von der Wand bzw. dem Fenster eine große Rolle spielen kann.

Alle abgestimmten Antennen müssen einmal mit ihren Ele-menten entsprechend der Polarisierung der Senderwellen (vor-wiegend horizontal) und zum andern besonders sorgfältig mit ihrer Hauptempfangsrichtung auf die Einfallrichtung der Sen-derwellen (mit dem Holm zielen, Direktoren vorn) ausgerichtet werden (Ausnahme: UKW-Einzeldipole).

Es kommt also immer darauf an, den günstigsten Aufstellungs-ort zu ermitteln und bei Richtantennen außerdem noch die richtige Antennenlage herauszufinden. Bei Zimmer- und Fensterantennen ist das kein Problem, da man ja das Ausrichten in Hörweite (bzw. Sichtweite beim Fernsehen) vom Empfänger vornehmen kann. Anders bei Dachantennen. Hier kann man sich grundsätzlich nicht nach benachbarten Dipolen richten, weil sich aus den oben angeführten Gründen ganz andere Nahfeldverhältnisse einstellen können als bei den Nachbarantennen, und weil man sich auch nicht darauf verlassen kann, daß jene richtig stehen. Im einfachsten Falle muß man hier also mit einem Helfer arbeiten, der durch Zuruf das Empfangsergebnis nach jeder kleinen Korrektur ansagt. Dieses Verfahren ist zeitraubend und unerquicklich; bei scharf bündelnden Antennen ist es überhaupt kaum durchführbar. Besser ist es, eine elektrische Rückmeldung des Empfangsergebnisses über eine besondere Leitung oder nach **Bild 107** auch über die ohnehin vorhandene Antennenleitung vorzunehmen, so daß das Ausrichten durch eine Person allein und genau vorgenommen werden kann, wenn der Empfänger auf den gewünschten Sender eingestellt ist. Die in Bild 107 vorgeschriebenen UKW-Drosseln sind unerläßlich, wenn nicht die Anpassungsverhältnisse empfindlich gestört werden sollen. Außerdem darf der Ausrichtende natürlich nicht so nahe an die Antenne kommen, daß er deren elektrische Eigenschaften beeinflußt. Wenn man anstelle des Kopfhörers in Bild 107 ein ausreichend empfindliches Outputmeter oder ein Röhrenvoltmeter anschließt, läßt sich die Antenne sehr genau ausrichten. Die Schutzkondensatoren können wegfallen, wenn man einen niederohmigen Lautsprecher- ausgang benutzen kann. Dieses Verfahren setzt allerdings voraus, daß der Sender gerade in geeigneter Form moduliert ist (z. B. Meßton zu Beginn und Ende der Sendepausen). Wer genügend Sachkenntnis besitzt, kann die Meßleitung an den Ladekondensator des Verhältnis-Demodulators anschließen und auf diese Weise immer eine befriedigende Anzeige an einem hochohmigen Meßgerät erhalten. Auch zum Ausrichten von Fernsehantennen mit geerdeten Faltdipolen läßt sich die Empfängerzuleitung benutzen, wenn man sie während des Ausrichtens antennenseitig über Kondensatoren anschließt. Dann kann man

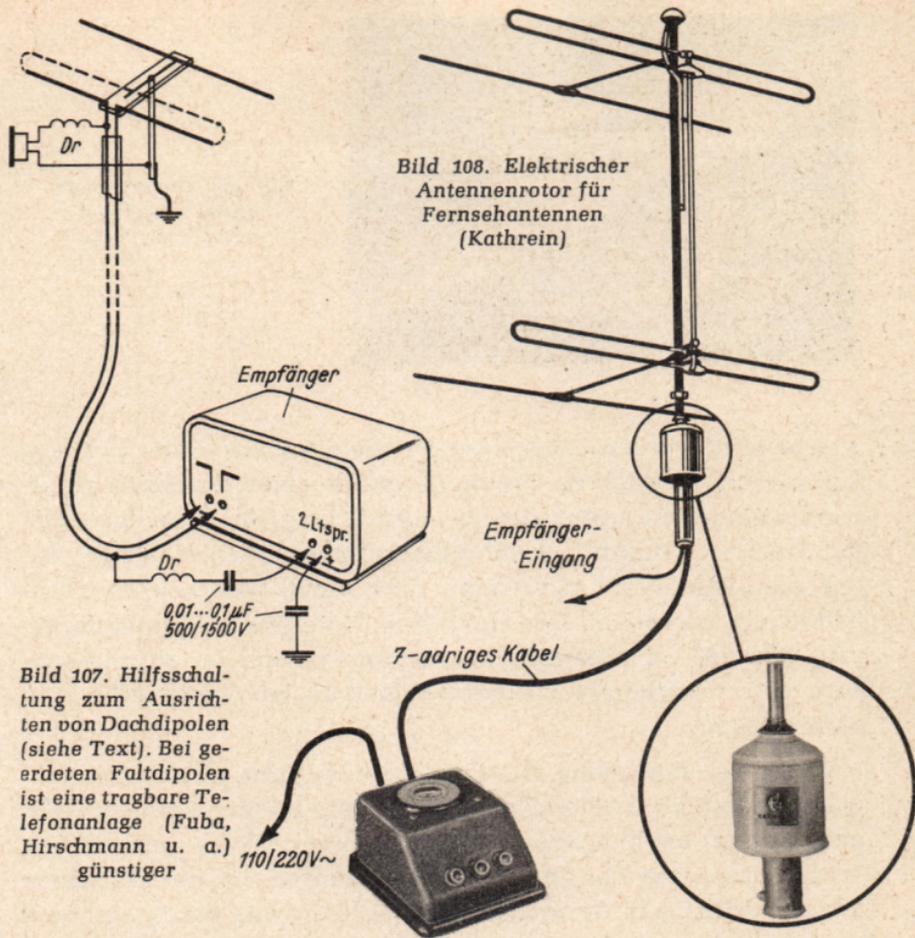


Bild 107. Hilfsschaltung zum Ausrichten von Dachdipolen (siehe Text). Bei geredeten Faltdipolen ist eine tragbare Telefonanlage (Fuba, Hirschmann u. a.) günstiger

Bild 108. Elektrischer Antennenrotor für Fernsehantennen (Kathrein)

über 10-k $\Omega$ -Widerstände die Zf-Regelspannung an das empfan-  
gerseitige Ende der Zuleitung legen und sie auf dem Dach mit  
einem hochohmigen Voltmeter überwachen [49]. Bequemer ist  
natürlich die Verständigung mit einem Helfer am Empfänger  
über ein Montageteléfono oder ein lizenziertes Funksprechgerät.

In gebirgigen Gegenden können die Senderwellen schräg von  
oben oder unten einfallen, so daß scharfbündelnde Antennen  
dementsprechend auch vertikal schwenkbar sein müssen. Hier-  
für gibt es besondere Mastschellen, z. B. nach **Bild 109**.

Wenn mehrere Sender aus verschiedenen Richtungen einfallen,  
so müssen entsprechend viele Einzelantennen vorgesehen und

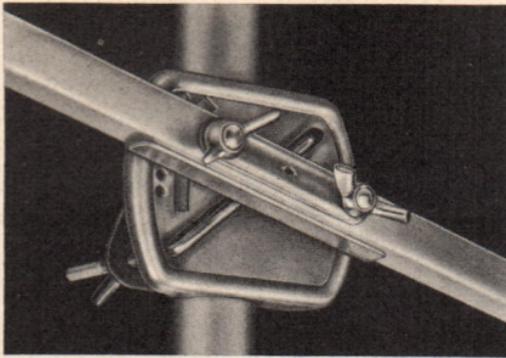


Bild 109. Schwenkmast-  
schelle mit Flügel-  
schrauben (Fuba)

ausgerichtet werden. Liegen jedoch alle Frequenzen der in Frage kommenden Sender im Frequenzbereich einer einzelnen Breitbandantenne, so ergibt sich als Ideallösung für derartige Fälle die drehbare Anordnung der Antenne über einen elektrisch betriebenen Rotor als Mastträger oder durch mechanische Fernbedienung von Hand. Die elektrische Rotation der Antenne gemäß **Bild 108** ist natürlich die eleganteste und im allgemeinen auch betriebssicherste Lösung. (Selbstbau ist Glückssache und nicht ratsam.)

Wenn der finanzielle Aufwand hierfür nicht tragbar ist und gute handwerkliche Fähigkeiten eingesetzt werden können, kann man sich mit mechanischen Lösungen helfen. Wo es die örtlichen Verhältnisse und der Hausbesitzer gestatten, ist die einfachste und zuverlässigste Anordnung die Verlängerung des Tragrohres bis in den darunterliegenden Raum. Das Rohr wird am Fußende und an den Durchführungsstellen sorgfältig gelagert und erhält ein altes Autolenkrad zum Drehen sowie eine Klemm- oder sonstige Arretiervorrichtung zum Festhalten in der gewählten Stellung. Ein am Steuerrad befestigter Zeiger oder eine Markierung gibt dann über einer selbstgefertigten Windrose die jeweilige Antennenstellung an. Bei dieser Ausführung ist besonderer Wert auf einwandfreien Blitzschutz (Erdung des oberen Teiles am Blitzableiter,  $> 1$  m isolierendes Zwischenstück, Erdung des unteren Teiles an Wasserleitung) und wasserdichte Durchführung zu legen. Außerdem empfiehlt es sich, den Drehwinkel auf knapp  $360^\circ$  zu begrenzen, um auf Schleifkontakte

verzichten zu können und ein Abreißen der Zuleitung zu vermeiden.

Eine andere mechanische Lösung [36], die zwar auch vom Segen des Hausbesitzers, dafür weniger von örtlichen Verhältnissen abhängig ist, zeigt schematisch **Bild 110**. Auch hier wird die Drehung auf etwas weniger als  $360^\circ$  beschränkt und dadurch ermöglicht, daß ein durch eine kräftige Feder vorgespanntes wetterfestes Drahtseil mehr oder weniger weit aus der Ruhelage gezogen wird, wobei es den Antennenträger über eine stabile Schnurscheibe mitnimmt. Das Seil kann über mehrere gut gelagerte Rollen geführt werden und endet an einem soliden Hebel, der in jeder Lage feststellbar sein muß, wenn man nicht das Seil selbst kurz vor dem Hebel durch eine Klemmvorrichtung führt.

Bei tragbaren Zimmer- und Gehäuseantennen ist das Ausrichten nur eine Geduldsfrage. Nur bei fest zu montierenden Innenantennen sind einige Vorversuche bezüglich der günstigsten Lage zu empfehlen. Am günstigsten sind die Fensterseiten von Räumen, die dem Sender zugewandt sind und möglichst hoch liegen. Innerhalb des Raumes können die Empfangsverhältnisse von Meter zu Meter, sowohl der Breite wie der Höhe nach, verschieden sein. Lange Zuleitungen sind zu vermeiden, weil sie die Wirkung der Antennen oft verschlechtern. Bei schlechter Anpassung ist ihre Länge ziemlich kritisch.

## b) Innenantennen

Die Errichtung von Innenantennen – soweit sie fest angebracht werden sollen – dürfte kaum auf Schwierigkeiten stoßen. Drahtantennen für AM-Empfang werden meist in Taschenpackungen geliefert, die gleichzeitig die für die vorgesehene Drahtlänge ausreichende Isolatoranzahl enthalten – man

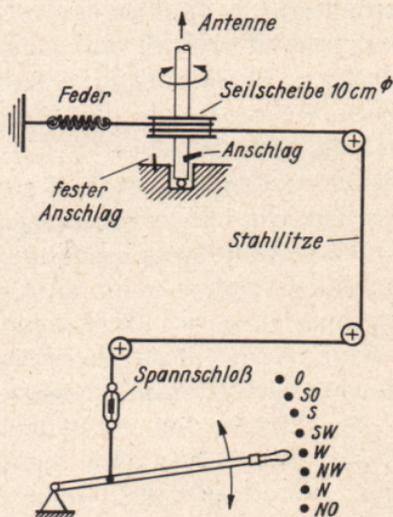


Bild 110. Antennenrotor mit Seilzug als Anregung zum Selbstbau

braucht also zur Montage solcher Drahtantennen nur einen Hammer. Außerdem ist es auch hier ratsam, sich vorher die günstigste Antennenlage zu überlegen, damit man nicht in zu enge Nachbarschaft mit Licht-, Gas- und Wasserleitungen kommt, die nur zu oft Träger und Übermittler unerwünschter Störungen sind.

Gerissene Dipole (Bild 101) und aus Bandleitung hergestellte Faltdipole (Bild 102) lassen sich mitunter sehr unauffällig unterbringen; als Teppichantennen (bei großer Sendernähe) haben sie jedoch oft den Nachteil, daß der Empfang beim Überschreiten oder Vorbeigehen schwankt.

### **c) Autoantennen**

Für die Montage von Autoantennen liefern die Antennenhersteller zu den verschiedensten Wagenmodellen passende Montageanleitungen. Allgemein ist beim Einbau darauf zu achten, daß die Antenne einen möglichst großen Abstand von der Metallkarosserie erhält und ihre Zuführung wasserdicht eingeführt und ohne scharfe Knicke an den Empfänger gebracht wird. Man versuche dabei unter allen Umständen mit der gelieferten Kabellänge auszukommen, weil durch Anflicken erfahrungsgemäß mehr verdorben als genützt wird und die Eingangsschaltung des Empfängers trotz der meist vorhandenen Abgleichmöglichkeit vielfach eine zusätzliche kapazitive Belastung nicht verträgt. Zur Montage an Karosseriestellen mit schwer erreichbarer Rückseite gibt es Antennen mit Schneidgewinde, die mittels Sechskantschlüssel in ein passend vorgebohrtes Loch eingedreht werden können (z. B. Wisi). Für Antennen an exponierten Stellen werden zweckmäßig automatisch arbeitende Versenktypen gewählt (vergleiche Bild 97). Von Hand versenkbare Autoantennen gibt es auch in Ausführungen, bei denen man zum Herausziehen des Teleskops einen besonderen Schlüssel benötigt, um auf diese Weise Diebstähle und mutwillige Beschädigungen leichter ausschließen zu können (Bild 96).

Der Einbau von Autoantennen in das Fahrzeugheck bringt keine elektrischen oder empfangstechnischen Vorteile und ist nur zu rechtfertigen, wenn auch der zugehörige Empfänger, Funksprechsender oder dergleichen im Heck des Wagens untergebracht ist.

# 17. Die Antennenzuleitung und ihre Montage

## a) Allgemeines

Alle Bemühungen um höchste Empfangsleistung einer Antenne sind vergebens, wenn es nicht gelingt, die von der Antenne aufgefangene Hochfrequenzenergie verlustarm an den Empfänger zu bringen. Wie man dieses Problem löst, hängt grundsätzlich davon ab, ob die Antenne abgestimmt ist oder nicht. Während man nämlich bei abgestimmten (also bei UKW- und Fernseh-) Antennen für richtige Anpassung schon zwischen Antenne und Leitung sorgen muß, genügt es bei nicht abgestimmten Antennen zunächst, die Kapazität der Ableitung gegen Erde möglichst klein und ihren Isolationswiderstand hoch zu machen.

Wenn die Zuleitung den Empfänger nur auf dem Wege durch Störfelder erreichen kann, besteht die Gefahr, daß sie Störspannungen aufnimmt, die von der gleichen Größenordnung sind wie die Antennenspannungen schwächerer Sender. Nimmt man nun ein konzentrisches Kabel zur Antennenableitung, obgleich man (bei nicht abgestimmten Antennen) eigentlich nur einen Draht benötigt, so kann man den Außenleiter oder Mantel des Kabels erden und erhält eine Antenne mit abgeschirmter Zuleitung (nicht eine „abgeschirmte Antenne“). Der Nachteil dieser Anordnung ist, daß das konzentrische Kabel wie ein Durchführungs-kondensator aufgebaut ist und dementsprechend eine gewisse Kapazität (30...95 pF/m) aufweist. Bei langen Zuleitungen besteht also die Gefahr, daß die kostbare Antennenenergie kapazitiv zur Erde abfließt, noch bevor sie zum Empfänger gelangt. Um dies zu vermeiden, sieht man an beiden Enden des Kabels Übertrager vor, welche die hochohmigen Antennen- und Empfänger-eingangswiderstände an das meist sehr niederohmige Hochfrequenzkabel anpassen und dabei die große Kabelkapazität in unschädlich kleine Kapazitätswerte auf der Antennen- und Empfängerseite transformieren. Es ist selbstverständlich, daß gerade Gemeinschaftsanlagen, bei denen viele Teilnehmer an eine Antenne angeschlossen sind und große Zuleitungslängen im Störnebel des Hauses verlaufen, nur durch den Einbau abgeschirmter HF-Leitungen mit entsprechenden Anpassungsübertragern zu befrie-

Tabelle 22. Daten einiger Hochfrequenzleitungen

Wellen- wider- stand $\Omega$	Typ	Dämpfung [dB/100 m] bei . . . MHz								Außen- $\phi$ od. Maße mm	Bemerkungen (K = Kleinster Krüm- mungsradius in mm für Innen-/Außenverlegung)
		100	200	300	500	600	700	800	1000		
Abgeschirmte Kabel (70...90 pF/m):											
60 ± 3	1-60-3 DIN 47240	16	—	29	—	—	—	—	57	5 ± 0,2	PVC-Mantel K = 25/50
60 ± 2,4	1-60-3,7 DIN 47241	13	—	23	—	—	—	—	48	6 ± 0,2	PVC-Mantel K = 30/60
60 ± 2,4	1-60-7,3 DIN 47242	6,8	—	13	—	—	—	—	27	10,3 ± 0,3	PVC-Mantel K = 50/100
60 ± 2,4	1-60-11,5 DIN 47243	4,6	—	8,7	—	—	—	—	20	15 ± 0,4	PVC-Mantel K = 75/150
60	Hirschmann Koka 1	9,5	14	—	24	—	29	—	—	6,5	Lupolenmantel, weiß
60	Hirschmann Koka 2	9,5	14	—	24	—	29	—	—	5	Kupfergeflecht, blank
60	Siemens SAL 404	8,2	13	—	—	25,9	—	29,3	—	5	blanker Schirm
60	Siemens SAL 406	8,2	13	—	—	25,9	—	29,3	—	6,5	Kunststoffmantel, i. P.
60	Siemens SAL 413a	8	13	—	—	26	—	—	—	12	Feuchtraum-, Erdkabel
60	Kathrein 6757	9	13,5	—	21,5	—	26	—	—	6	PVC-Mantel, weiß
60	Kathrein 6754	7	10,5	—	17,5	—	22	—	—	7	PVC-Mantel, weiß
120	Hackethal SAL 0,65/1,8 LS	15	20	—	37	—	—	—	—	7	symmetrisch abgeschirmt
120	Hirschmann Syka 12	11,5	15,5	—	26	—	33	—	—	7	symmetrisch abgeschirmt
240	Hackethal SAL 0,4/4,0 S	11,5	17,5	—	31	—	—	—	—	9,4/5,4	symmetrisch abgeschirmt
Unabgeschirmte symmetrische Leitungen:											
240	Hackethal SALh 0,9/5,0 LU	5,2	7,8	—	15,5	—	—	—	—	7	Schlauchleitung
240 ± 5%	Hirschmann Uka 1...3	4,8	7	—	13	—	17	—	—	7 breit	DIN 47261 hell, sw., ws.
240	Hirschmann Uka 15 u. 16	4	6	—	12	—	17	—	—	ca. 7	Schlauchleitung sw.od.ws.
240	Siemens SAL 407	4,8	7,5	—	—	17,2	—	19,8	—	2 × 10	Bandleitung, ws., i. P.
240	Siemens SAL 407s	4,8	7,5	—	—	17,2	—	19,8	—	2 × 10	dto., wetterfest, sw.
240	Siemens SAL 415	4,8	7,5	—	—	17,2	—	19,8	—	6,9	Schlauchleitung, sw.
240 ± 5%	Kathrein 6701	4,5	7	—	14	—	19	—	—	7 breit	DIN 47261 A; 18 pF/m
240	Kathrein 6705	4,5	7	—	14	—	19	—	—	≤ 8	Schaumstoffleitung

digender Funktion gebracht werden können. Soweit Gemeinschaftsanlagen oder Antennenbaukästen nicht schon mit passenden Kabeln geliefert werden, können im Handel geeignete Leitungen bezogen werden. In **Tabelle 22** sind einige gebräuchliche Antennenleitungen für Empfangszwecke aufgeführt. Bemerkenswert sind dabei die Erdkabel, die es ermöglichen, die Antennenzuleitung in die Erde zu vergraben, wenn man aus örtlichen Gründen eine Stabantenne nicht am Hause, sondern an störfreier Stelle im Garten, Hof oder dgl. errichten will (vgl. Bild 85).

### b) Antennenzuleitungen für Einzelantennen

Einzelantennen, besonders Langdrahtantennen für AM-Empfang, kommen oft mit einadrigen, ungeschirmten Zuleitungen aus, so daß hier nur auf ausreichenden Abstand von allen als Erde wirkenden Gebilden (Dach, Dachrinne, Mauerwerk) und gute Isolation (auch bei Regen!) geachtet werden muß. Benutzt man abgeschirmte Zuleitungen, die meist auf beiden Seiten durch Übertrager abgeschlossen werden (vgl. Kapitel 18), so muß man zusätzlich dafür sorgen, daß keine Feuchtigkeit in das Kabel eindringen kann und sein Mantel vor mechanischen Schäden bewahrt bleibt. Ein außerhalb des Hauses verlegtes Kabel muß also selbst wetterfest (z. B. Kunststoffmantel über Abschirmung) sein, feuchtigkeitsdicht an die Antenne bzw. Überspannungsableiter angeschlossen und im übrigen so oft durch Abstandsisolatoren abgefangen werden, daß es sich nicht unter Windeinfluß an Regenrinnen, Mauervorsprüngen und dgl. durchscheuern kann. Das gleiche gilt für UKW-Leitungen aller Art, zu deren Befestigung nur passende, d. h. für diese Kabel konstruierte Abstands-

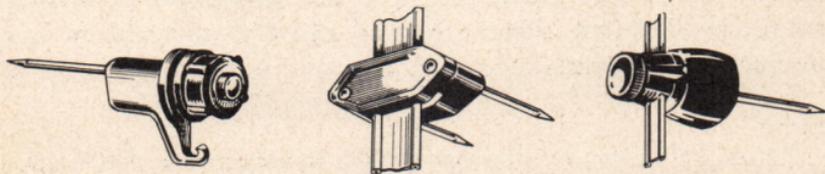


Bild 111. Abstandsisolatoren für UKW-Bandleitung; vgl. auch Bild 70

isolatoren (**Bild 111**) verwendet werden sollten<sup>1)</sup>. Überhaupt soll bei UKW-Kabeln alles vermieden werden, was eine Störung der Symmetrie oder der elektrischen Daten (Wellenwiderstand) hervorrufen könnte, daher auch die Forderung nach symmetrisch aufgebauten Überspannungsableitern und nach Verdrillen von Bandleitungen, die an Wänden entlang geführt werden. Aus demselben Grunde sollte eine UKW-Leitung stets aus einem Stück bestehen. Läßt sich einmal eine Flickstelle bei einer Bandleitung nicht umgehen und ist kein Bandleitungs-Verbinder (z. B. *Kathrein*) zur Hand, so verfährt man folgendermaßen: Die Leitungsenden werden über einer Streichholzflamme oder am Mantel eines heißen Lötkolbens erhitzt, bis sich die Isoliermasse (meist Polyäthylen) mit einem Tuch entfernen läßt. Die Adern werden blank gemacht, verdrillt und säurefrei verlötet, wobei der laufende Aderabstand auch an der Flickstelle eingehalten werden muß. Dann werden die Lötstellen mit Trolitul-Kitt, Uhu oder ähnlichen gut isolierenden Kitten überzogen, um Feuchtigkeitseinflüsse fernzuhalten. Isolierband ist für diesen Zweck ungeeignet. Symmetrische Schlauchleitungen werden in gleicher Weise abisoliert, nur daß man hier noch die Schlauchöffnung im heißen, also weichen Zustand mit einer Flachzange zusammendrückt, um den Schlauch feuchtigkeitsdicht zu verschließen.

In den Bereichen IV und V sind flache Bandleitungen außerhalb geschlossener Räume nicht mehr zu verwenden; hier kommen nur dämpfungsarme Schlauchleitungen oder abgeschirmte Kabel in Frage, deren Dämpfung durch Feuchtigkeits- oder Staubbelaag nicht merkbar erhöht wird.

Haben die Systeme einer Allwellenantenne getrennte Zuleitungen, so müssen diese untereinander und vom Träger einen Abstand von 10...20 cm haben, also auf getrennten Abstandsisolatoren verlaufen, wenn sie nicht sämtlich abgeschirmt und mit einem Isoliermantel versehen sind.

---

<sup>1)</sup> Scharfe Knicke sind zu vermeiden; sie führen nicht nur zur Beschädigung des Kabels, sondern ändern auch den Wellenwiderstand an der betroffenen Stelle.

### c) Gemeinschaftsanlagen

Gemeinschaftsanlagen erhalten heute fast immer Mastantennen, so daß das Zuleitungskabel wie bei Stabantennen im Tragrohr verlegt werden kann. Da zur Vermeidung von Rückwirkungen zwischen den einzelnen Teilnehmergeräten auf sorgfältige Leitungsanpassung großer Wert gelegt wird, versucht man mit nur einer Kabelsorte in der ganzen Anlage auszukommen, soweit die Montageanweisungen der Firmen nicht andere Vorschriften enthalten. Aus Preisgründen wird man Gemeinschaftsanlagen in bereits bestehenden Häusern mit auf Putz verlegbarem Kabel installieren, während für Neubauten Unterputzleitungen vorzuziehen sind. Unterputzleitungen gibt es zur Verlegung in Isolierrohren und zum direkten Einputzen (Koax-Kabel, nicht Stegleitung!).

In Hf-Verteilungsnetzen unterscheidet man zwischen Schleifen- und Stickleitungen (Durchschleif- und Abzweigsystem), die gelegentlich kombiniert (Verteilersystem) werden können (**Bild 112**). Welches System man im Einzelfall wählt, hängt weitgehend von den örtlichen Verhältnissen ab. Im allgemeinen wird das Durchschleifsystem bevorzugt. Maßgebend ist die jeweilige Montagevorschrift, die man daher schon bei der Planung der Anlage genau studieren sollte. In jedem Fall bemühe man sich, die Leitungen möglichst kurz zu halten, um einerseits Material und Montagekosten zu sparen und andererseits möglichst viele Teilnehmer anschließen zu können. Während man in der Mehrzahl aller Fälle vier bis acht Teilnehmer an eine Anlage ohne Verstärker anschließen kann, benötigt man für höhere Teilnehmerzahlen Antennenverstärker für die gewünschten Wellenbereiche, um die Gesamtdämpfung der Anlage auszugleichen.

Bei Anlagen mit Antennenverstärkern werden gewöhnlich zwei oder mehr Stammleitungen verwendet, die je nach Anlagentyp und örtlichen Gegebenheiten im Durchschleif- oder Stickleitungssystem mit entkoppelten Anschluß- bzw. Abzweigdosen aufgebaut sein können. Die jeweils letzten Dosen (Enddosen) werden mit Widerständen abgeschlossen, deren Werte dem Wellenwiderstand entsprechen. Mitunter sind die Antennenverstärker ausgangsseitig für den halben Wellenwiderstand

der empfohlenen Leitung (entsprechend zwei parallel angeschlossenen Stammlleitungen) angepaßt.

Die zufriedenstellende Arbeitsweise einer Gemeinschaftsanlage hängt mindestens ebenso von einer gewissenhaften Planung wie von der sorgfältigen Montage ab. Die Montageanleitungen der meisten Hersteller sind so ausführlich gehalten, daß bei ihrer Befolgung kaum etwas schiefgehen kann. Außerdem enthalten auch die Kataloge der namhaften Hersteller Planungs- und Berechnungsbeispiele für den Entwurf von Gemeinschaftsanlagen (vgl. auch [48]). Daher wollen wir uns hier nicht näher mit diesen Fragen beschäftigen, zumal Antennenverstärker, Weichen bzw. Filter und Dosen sowie die zugehörigen Empfängeranschlußschnüre nicht selbst gebaut werden können.

Bei der Planung von Gemeinschaftsanlagen für Neubauten achtet man von vornherein darauf, daß nur Dosen und Kabel verwendet werden, die für die direkte Verteilung von UHF-Energie der Bereiche IV und V geeignet sind. Ältere Anlagen können für den UHF-Empfang durch einen Frequenzumsetzer, wie er in Bild 112 eingezeichnet wurde, nachgerüstet werden. Der Umsetzer setzt die von der angeschlossenen UHF-Antenne gelieferte Antennenspannung des Bereichs IV oder V auf einen Kanal des Bereichs I um, so daß auch Empfänger ohne eingebauten UHF-Teil auf diese Weise ein weiteres Programm empfangen können.

Bei den ebenfalls in Bild 112 eingezeichneten Filtern oder Frequenzweichen unterscheidet man Hochpässe, die von einer Grenzfrequenz an alle höheren Frequenzen passieren lassen, Tiefpässe, die nur Frequenzen unterhalb ihrer Grenzfrequenz durchlassen, und Bandpässe, die nur für einen bestimmten Bereich (z. B. UKW) durchlässig sind. Meist werden Hoch-, Tief- und Bandpässe in Zusammenschalt- oder Trennweichen (Filterkombinationen) vereinigt. Richtig abgegliche Filter verschiedener Durchlaßbereiche kann man unbedenklich parallel schalten, weil ihre Impedanz nur im Durchlaßbereich dem gewünschten Wellenwiderstand entspricht, während sie im Sperrbereich hochohmig ist.

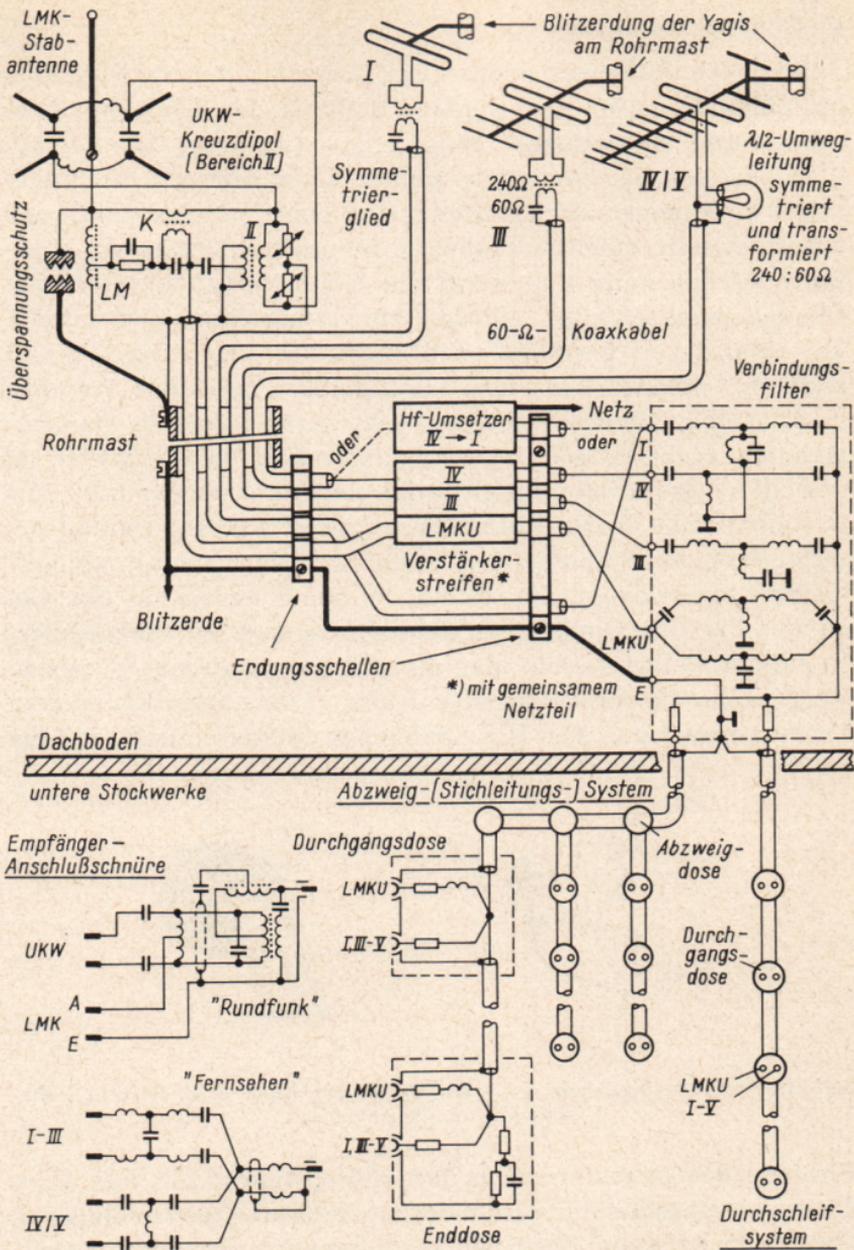


Bild 112. Schema einer Allwellen-Gemeinschaftsantennen-Anlage mit einadrigen konzentrischen Kabeln

#### d) Gebäudeeinführung

Bei jeder Außenantennenanlage besteht die Notwendigkeit, die Zuleitung an einer geeigneten Stelle in das Gebäude einzuführen. Die eleganteste Lösung ergibt sich ohne Zweifel bei Stab- und anderen Antennen, die mit einem Rohr als Antennenträger auskommen. Stabantennen sind meist so konstruiert, daß das geschirmte Zuleitungskabel im Innern des Tragrohres abgeführt werden kann und durch die Isolierglocke, die auch den Überspannungsableiter und den Anpassungsübertrager enthält, vor Feuchtigkeit geschützt wird. Auch bei vielen Dipolen und anderen Antennen kann man die Zuleitung durch das Tragrohr in das Gebäudeinnere bringen, wenn durch geeignete Maßnahmen ein zuverlässiger Feuchtigkeitsabschluß gewährleistet ist und nicht geschirmte Zuleitungen durch Abstandsstücke aus Isoliermaterial in der Rohrmitte gehalten werden. Gerade bei nicht geschirmten Zuleitungen ist aber zur Vermeidung von Verlusten eine Führung der Antennenleitung außerhalb des Gebäudes bis zum Fenster des Empfangsraumes oft vorzuziehen. In solchen Fällen verlegt man die Zuleitung auf dem kürzesten Wege ohne scharfe Knicke über Abstandsisolatoren bis zu dem Fenster, bringt dort den Überspannungsableiter an und setzt die

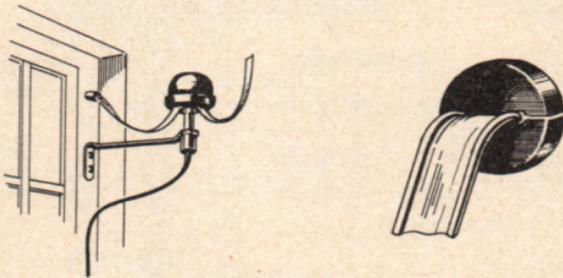


Bild 113. Gebäudeeinführung von UKW-Bandkabel, links durch Porzellanrohr, rechts durch Kabelstopfen

Richtung der Zuleitung durch den Blitz-Erdungsdraht fort. Vom Überspannungsableiter wird dann die Zuleitung rechtwinklig zur bisherigen Richtung, durch ein Porzellanrohr oder einen Kabelstopfen (**Bild 113**) geschützt, durch den Fensterrahmen oder die Mauer eingeführt. Dabei sorgt man durch Schrägstellen des

Porzellanrohres und eine Leitungskrümmung dafür, daß an der Zuleitung entlanglaufendes Regenwasser nicht in die Durchführungsstelle laufen kann, sondern vorher abtropft.

#### e) **Sonstige Blitzschutzfragen** (s. a. Abschnitt 16a)

Wie jedes aus der Erdoberfläche herausragende Gebilde ist auch die Außenantenne an luftelektrischen Vorgängen beteiligt. Das bedeutet keineswegs, daß sie die Blitzgefahr erhöht – im Gegenteil: sie unterstützt bei sachgemäßer Ausführung die Wirkung einer Blitzableiteranlage. Bei Antennen ist jedoch im Gegensatz zum Blitzableiter die Spitzenwirkung mitunter lästig, weil durch sie ständig statische Elektrizität in die Luft abfließen kann und daher der Störpegel erhöht wird. Man findet folglich bei vielen Mastantennen – aber auch bei Fahrzeugantennen – statt der Spitze eine als Prasselschutz bezeichnete Kugel (max. 8 cm Durchmesser), die das beständige Abfließen kleiner Elektrizitätsmengen vermindert. Die Wirkung der Kugel führt jedoch nicht zu einer Beeinträchtigung der Blitzsicherheit.

Wie wir wissen, muß eine Antennenanlage in der Lage sein, einen Blitzeinschlag oder eine von nahen Einschlägen herrührende Überspannung gefahrlos für ihre Umgebung nach Erde abzuleiten. Dazu genügt nicht einfach ein Blitzschutz – oder, wie es in den Vorschriften heißt: ein Überspannungsableiter, der einen Teil der Blitzschutzanlage darstellt – es gehört auch eine solide Erdleitung dazu, die keinesfalls unbesehen durch Innenräume geführt werden darf. Im ungünstigsten Fall, nämlich bei einem unmittelbaren Blitzeinschlag, muß der Blitz einen möglichst geraden Weg von vernachlässigbarem Widerstand zur Erde haben, ohne daß er brennbare Stoffe entzünden oder auf andere geerdete Metallteile (Licht-, Gas-, Wasserleitungen) überspringen kann. Das ist zu beachten, wenn man Wasserleitungen, Fahrstuhlschienen und ähnliche Leitungssysteme innerhalb eines Hauses als Blitzerde benutzen will. Man muß daran denken, daß wegen der hohen Blitzstromstärken und wegen des impulsartigen Charakters der Blitzentladung schon leichte Krümmungen und Knicke beträchtliche induktive Widerstände darstellen, die stellenweise übermäßige Erhitzung oder ein Abspringen des Blitzes

verursachen können<sup>1)</sup>. Auch die Gleichstromwiderstände des Erders, der Leitungsklemmen usw. (bei Wasserleitungen der Übergangswiderstand an den Muffen) spielen eine wichtige Rolle. Ein Erdungswiderstand von  $6 \Omega$  verursacht z. B. bei einem Blitzstrom von nur 60 000 Amp. einen Spannungsabfall von 360 000 V, der erfahrungsgemäß einen Luftzwischenraum von einem halben Meter überbrücken kann. Bei einem Einschlag kann also der Blitz bei ungenügend niedrigem Erdwiderstand auf benachbarte Metallmassen überspringen und auf dem Wege dorthin oder in seinem weiteren Verlauf brennbare Gegenstände zünden. Wenn man den Erdungswiderstand nicht ausreichend klein machen kann<sup>2)</sup>, so halte man wenigstens die Zuleitung zum Empfänger, Netzleitungen und andere Metallmassen in respektvoller Entfernung vom „vorgeschriebenen“ Blitzweg. In jedem Falle richte man sich genau nach den VDE-Bestimmungen 0855 neuester Ausgabe.

Zur Ableitung luftelektrischer Überspannungen ist ein Feinschutz erforderlich, sobald der Gleichstromwiderstand zwischen Antenne und Erde mehr als  $500 \Omega$  betragen kann. Ein solcher Feinschutz ist ein Überspannungsableiter mit einer Ansprechspannung von max. 1000 V und einem Ableitvermögen von min.  $0,5 \text{ W s}^3$ ) (**Bild 115**). Gegen Überspannungen aus elektrischen Anlagen schützt man sich durch Verlegung der Antennenleitungen in ausreichendem Abstand, d. h. in Gebäuden 10 mm, im Freien 20 mm von allen anderen Installationen entfernt.

---

<sup>1)</sup> Die Abneigung des Blitzes, rechtwinkligen Wegänderungen zu folgen, nutzt man andererseits aus, um ihn von der Empfängerzuleitung fernzuhalten, indem man diese mit mindestens 1,5 m Länge senkrecht auf die Richtung Antennenzuleitung-Erde stoßen läßt.

<sup>2)</sup> Vgl. [32; 35]. Anschlußklemmen an Blitzableitern sollen mindestens  $10 \text{ cm}^2$  Fläche aufweisen. Als Erdleitungen müssen mind. 8 mm starke, verzinkte Eisen- oder Kupferdrähte sichtbar verlegt werden (innerhalb von Gebäuden mind. 4,5 mm starke Drähte). Für die Erder gelten besondere Vorschriften [32; 35].

<sup>3)</sup> Der außer dem Überspannungsableiter früher vorgeschriebene Erdschalter wird in der jetzt gültigen Fassung der VDE-Vorschrift [32] nicht mehr zur Bedingung gemacht, empfiehlt sich jedoch nach wie vor besonders bei Antennenanlagen auf dem freien Lande und bei einzeln stehenden Gebäuden, ferner (in abgeschirmter Ausführung) bei Gemeinschaftsanlagen, wo er gleichzeitig als Prüfschalter bei Arbeiten am Leitungsnetz dienen kann.

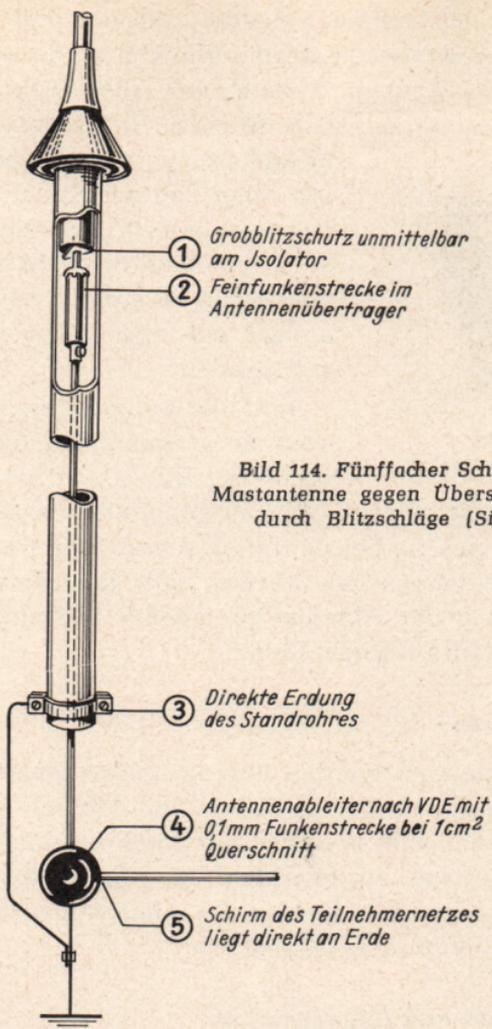


Bild 114. Fünffacher Schutz einer Mastantenne gegen Überspannungen durch Blitzschläge (Siemens)

In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, daß die Schutzart des im Hause installierten Lichtnetzes beachtet werden muß: In Starkstromnetzen, in denen die Nullung als Schutzmaßnahme zugelassen ist, muß der Erder der Antennenanlage durch einen berechtigten Fachmann mit dem Nulleiter gemäß VDE 0100 verbunden werden, wenn sonst kein Erder vorhanden ist oder wenn es sich um eine Antennenanlage mit

abgeschirmten Hf-Leitungen handelt. An den Erder der Antennenanlage sind außer der durchverbundenen Kabelabschirmung (auch bei ausgebautem Verstärker!) die Erdklemmen aller installierten Verstärker anzuschließen. In Starkstromnetzen mit



Bild 115.  
Überspannungsableiter

Schutzleitungssystem darf der Erder mit allen anderen Erdern (nicht: Mittelpunktsleiter!) verbunden werden; er ist mit dem Schutzleiter zu verbinden, wenn es sich um eine Antennenanlage mit abgeschirmten Hf-Leitungen handelt.

Bei Faltdipolen, die nur dem UKW- oder Fernsehempfang dienen, ist der einfachste Blitzschutz die unmittelbare Erdung des nicht angeschlossenen Dipolteiles in seiner (geometrischen und) elektrischen Mitte. An dieser Stelle kann auch eine Funkenstrecke vorgesehen werden, falls die Dipolmitte wegen der Ausnutzung der Antenne für andere Wellenbereiche nicht galvanisch geerdet werden kann.

#### f) Autoantennen

Für Autoantennen werden abgeschirmte (konzentrische) Leitungen mit hochwertiger Isolation und kleiner Kapazität (ca. 20 pF) benutzt, die in Steckern mit Renkverschluß enden. Was bei ihrer Montage zu beachten ist, wurde bereits im Abschnitt 16c gesagt. Sie werden im allgemeinen passend zum Empfänger geliefert, s. a. [37; 38].

#### g) Erdleitungen und Gegengewicht

Da wir die Blitzerden bereits im vorigen Kapitel besprochen haben, bleiben an dieser Stelle noch die AM-Empfängerden, d. h. die hochfrequente Ergänzung der Antenne, zu erwähnen. Bei Taschen- und Koffergeräten und bei den üblichen Heimempfängern mit Netzanschluß spielen sie keine Rolle, da bei letzteren das Netz selbst als Erdung wirkt. Wenn aber vom Empfänger lediglich der Nf-Teil benutzt wird, kann eine Erdung des Gerätes zur Herabsetzung des Brummens erforderlich sein. Im

übrigen sind Empfangserden bei unempfindlichen AM-Empfängern, wie Einkreisern und besonders Detektorgeräten, nicht zu entbehren. Wo als UKW-Antenne statt eines Dipols nur ein einfacher Draht benutzt wird, kann eine Erdleitung günstiger Länge (Versuch!) zur Verbesserung des Empfangs beitragen. In diesen Fällen ist auch ein Gegengewicht – also ein an Erde genähertes, aber von ihr isoliertes Drahtgebilde ähnlicher Abmessungen wie die Antenne – von gleicher Wirksamkeit. Beim AM-Empfang verwendet man dagegen ein Gegengewicht nur, wenn die vorhandenen Erdungsmöglichkeiten schlecht oder störverseucht sind. Es wird dann ebenso wie die Antenne isoliert verlegt und wirkt um so besser, je näher es der Erdoberfläche gebracht wird und je höher die zugehörige Antenne angebracht werden kann.

In den Ausnahmefällen, in denen der Erdanschluß den Störpegel erhöht, aber für den Nf-Betrieb erforderlich ist, legt man eine Hochfrequenzdrossel in die Erdleitung.

Wenn ein Empfänger eine Erdleitung benötigt, so muß man auf sie die gleiche Sorgfalt bezüglich einwandfreier Kontaktstellen verwenden wie bei der Antenne. Sie soll so kurz wie möglich sein und keine scharfen Knicke aufweisen. Anschlüsse an Wasser- und anderen geerdeter Leitungen werden mittels Erdungsschellen (keine Lötverbindungen) vorgenommen und gegen Korrosion mit einem Schutzlack überzogen. Ein Anschluß der Empfängererde an den Blitzableiter ist nicht zu empfehlen. Läßt er sich nicht umgehen, so muß er auf mindestens 1,5 m Länge waagrecht an den senkrecht verlaufenden Blitzableiterdraht herangeführt werden.

Das gebräuchlichste Erdungsverfahren ist der Anschluß an Wasserleitungs- oder Zentralheizungsrohre. Dabei ist darauf zu achten, daß neuere Wasserleitungen in Kunststoffrohren und Regenrinnen in Tonröhren münden. Dann müssen Überbrückungsleitungen oder besondere Erder installiert werden.

Fernsprechkabel dürfen weder als Antennen noch als Erder benutzt werden.

## 18. Antennenanpassung

In selbstgebauten Antennenanlagen kann die Anpassung der Leitung an die Antenne und an den Empfängereingang zum Problem werden. So können in fehlangepaßten AM-Anlagen beträchtliche Verluste (Kapitel 3g) auftreten, während sich in UKW- und Fernsehanlagen Tonverzerrungen bzw. Bildplastik als Folge von Fehlanpassungen ergeben. Gemeinschaftsanlagen sind ohne einwandfreie Anpassung überhaupt nicht funktionsfähig.

### a) Einzel- und Gemeinschaftsantennen für AM-Empfang

Bei aperiodischen Antennen treten Anpassungsprobleme auf, wenn ihre Zuleitung geschirmt verlegt wird und Längen über 5 bis 10 m erreicht. Dann wird nämlich die Kabelkapazität schon so groß (gilt für Kabellänge  $< \lambda/4$ ), daß ein erheblicher Teil der Antennenenergie kapazitiv zur Erde abfließt. In solchen Fällen benutzt man Anpassungsübertrager, die die Antennenkapazität an die Kabelkapazität bzw. den Antennenwiderstand an den Wellenwiderstand des Kabels und diesen am anderen Ende an den Eingangswiderstand des Empfängers anpassen. Das Übersetzungsverhältnis eines solchen Übertragers berechnet sich angenähert nach der Formel:

$$\ddot{u} = \frac{n_a}{n_l} = \sqrt{\frac{R}{Z}}$$

(gilt für nichtkomplexe Verhältnisse und Verlustfreiheit).

$n_a$  = Windungszahl der anzupassenden Seite

$n_l$  = Windungszahl der Leitungsseite

$R$  = Anpassungswiderstand der anzupassenden Seite (Antenne, Gerät)

$Z$  = Wellenwiderstand der Leitung.

Der Eingangswiderstand des Empfängers ergibt sich bei längeren Wellen angenähert aus dem (durch Kreis- und Antennenspule) transformierten Resonanzwiderstand des ersten Kreises.

Der Übertrager muß aber nicht nur das richtige Übersetzungsverhältnis haben, sondern auch so berechnet oder geschaltet werden, daß bei der Sollfrequenz (meist der tiefsten Empfangsfrequenz [49] bzw. in dem gewünschten Frequenzbereich die meist

vorhandene (induktive) Blindkomponente des Eingangswiderstandes kompensiert wird. Das gilt auch für die verschiedenen Übertrager bei Gemeinschaftsanlagen. Wie wir bereits in Bild 112 sahen, erhält dort jeder Empfänger seinen eigenen Anpassungsübertrager. Außerdem sind Entkopplungswiderstände vorgesehen, die eine gegenseitige Rückwirkung (Energieentzug, Oszillatorstrahlung usw.) der Teilnehmergeräte aufeinander vermeiden (die Enddosen jeder Leitung werden entsprechend dem Wellenwiderstand abgeschlossen). Der Selbstbau solcher Übertrager setzt große Erfahrungen voraus und verspricht wenig Erfolg. Interessenten seien auf die Literatur [49; 50] verwiesen.

### **b) UKW- und Fernsehantennen**

Von weit größerer Bedeutung als beim AM-Empfang ist die richtige Anpassung bei UKW- und Fernsehantennen. Hier liegen die Antennenwiderstände meist schon in der Größenordnung der Leitungswiderstände, so daß dann Übertrager nur empfängerseitig in Form der ohnehin benötigten Kombination Antennenspule : Kreisspule oder als Symmetrierglieder (vgl. Bilder 112, 117, 118) bei Verwendung koaxialer Kabel erforderlich sind. Dafür betragen die Kabellängen meist ein Mehrfaches einer Viertelwellenlänge, so daß eine Wellenwiderstandsanpassung zur Vermeidung stehender Wellen und damit von Energieverlusten erforderlich wird. Die Anpassungssünden der ersten Jahre des UKW-Rundfunks haben sich wegen der schnell zunehmenden Senderdichte nur selten bemerkbar gemacht. Beim Fernsehen hingegen wirken sich Fehlanpassungen am Empfängereingang weit verhängnisvoller aus. Gewöhnlich treten bei Fehlanpassung längerer Leitungen neben Energieverlusten auch Verzerrungen auf [41]. Man findet vielfach die Meinung vertreten, daß „die Anpassung nicht so kritisch sei, weil eine Fehlanpassung von 1 : 4 (z. B. 60 an 240  $\Omega$ ) nur 37 % Energieverlust verursache“. Das gilt allenfalls für UKW-Hörfempfang mit ausreichenden Feldstärken, d. h. bei trotz Fehlanpassung ausgesteuertem Begrenzer. Beim Fernsehen oder wenn es in schlecht versorgten Gebieten darauf ankommt, alles an Nutzspannung aus der Antenne herauszuholen, was sie aufzunehmen in der Lage ist, kann man gar nicht sorgfältig genug anpassen, weil nur so die störenden Blind-

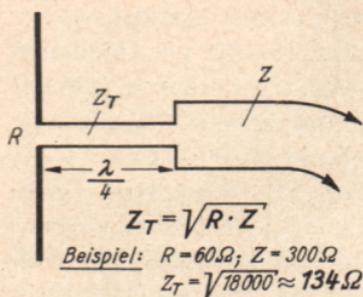
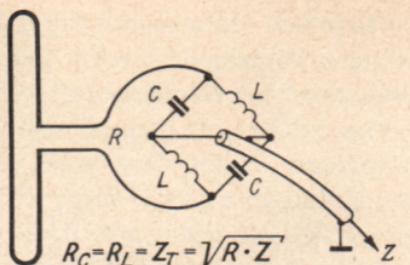


Bild 116. Anpassung eines offenen Dipols an eine symmetrische Bandleitung durch eine  $\lambda/4$ -Leitung mit mittlerem Wellenwiderstand (siehe auch Bild 67d)



Rechts: Bild 117. Anpassung eines symmetrischen Faltdipols an ein konzentrisches Kabel kleineren Wellenwiderstandes durch die Boucherot-Brücke (siehe auch den UKW-Dipol in Bild 112)

komponenten zu beseitigen sind. Antennenseitig ist man allerdings auf Versuche angewiesen (falls man nicht messen kann), weil bereits der Anpassungswiderstand der Antenne weitgehend vom Reflektor- (und gegebenenfalls auch vom Direktor-)abstand sowie von Nahfeldeinflüssen im Umkreis von einigen Wellenlängen abhängt und der Kabeltyp meist vorgegeben ist.

Nach dem oben Gesagten kommt es aber auch auf die Anpassung der Empfängerseite an. Meistens hat man Industriegeräte anzupassen, deren propagierte Antennenanpassungswerte mit beträchtlichen Toleranzen zu verstehen sind. Hinzu kommt, daß die als symmetrisch bezeichneten Antenneneingänge in den seltensten Fällen tatsächlich symmetrisch sind. Von Symmetrie<sup>1)</sup> kann man nämlich nur sprechen, wenn durch einen statischen Schirm zwischen Kreis- und Antennenspulen die Transformation der Kapazitäts-Usymmetrie aus dem Eingangskreis in den Antennenkreis verhindert wird, und wenn die dann verbleibende

<sup>1)</sup> Die Symmetrie wird nicht nur aus Anpassungsgründen angestrebt, sondern auch wegen ihrer wichtigen Rolle bei der Kompensation von Störspannungen. Aus dem gleichen Grunde wird auch die Kreuzung (Verdrillung) einer Bandleitung in regelmäßigen Abständen empfohlen. — Wenn beim Umpolen einer Bandleitung eine Lautstärkeänderung oder eine Änderung der Bildqualität beim Fernsehen auftritt, ist das ein sicheres Zeichen für Usymmetrie.

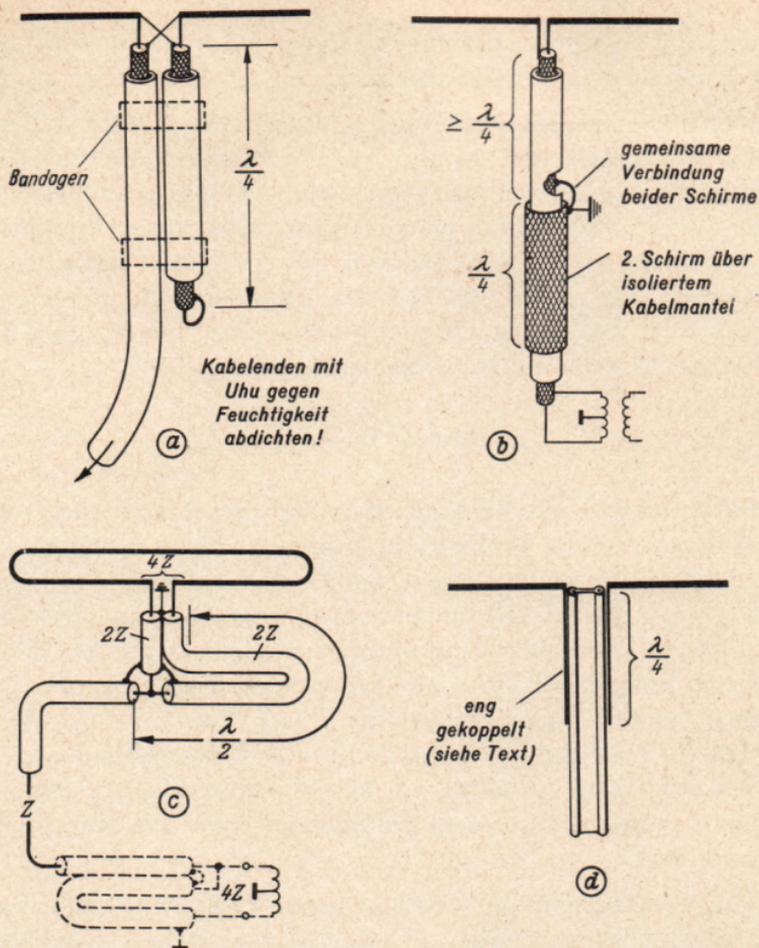


Bild 118. Für den Selbstbau geeignete Anpassungen: a)  $\lambda/4$ -Leitung zum stoßfreien Anschluß eines symmetrischen Dipols an eine unsymmetrische Leitung. b)  $\lambda/4$ -Sperrtopf aus Schirmgeflecht über einem isolierten konzentrischen Kabel zur stoßfreien Anpassung dieses Kabels an einen symmetrischen Dipol und einen symmetrischen Empfängereingang. c)  $\lambda/2$ -Umwegleitung zur Anpassung eines konzentrischen Kabels an eine symmetrische Antenne mit dem vierfachen Wellenwiderstand. Wie angedeutet, kann die gleiche Leitung auch zur Anpassung an einen symmetrischen Empfängereingang benutzt werden. d) „Automatische Anpassung“ nach Munzig (s. Text). Die wirklichen Längen ergeben sich aus der Multiplikation von  $\lambda/4$  mit dem Verkürzungsfaktor  $= 1/\sqrt{\epsilon}$ , worin  $\epsilon$  die Dielektrizitätskonstante der Leitungsisolierung ist

magnetische Spulenkopplung ebenso symmetrisch ausfällt wie die Leitung zu den Antennenbuchsen.

Da ferner bei Empfangsantennen die Fehlanpassung schlecht meßbar ist, müssen wir uns nach Mitteln umsehen, die ohne Eingriffe in den Empfänger bei gegebenem Antennenkabel experimentell eine nachträgliche genaue Anpassung zulassen. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten, so z. B. die bekannte  $\lambda/4$ -Stichleitung, die allerdings auf der Empfangsseite wenig gebräuchlich ist. Dafür benutzt man (auch antennenseitig) gern  $\lambda/4$ -Zwischenstücke mit einem Wellenwiderstand

$$Z_T = \sqrt{R \cdot Z}$$

(Bild 116), wenn  $Z$  der Wellenwiderstand des Kabels und  $R$  der daran anzupassende Widerstand (Antenne oder Gerät) ist. Mit der gleichen Formel errechnet man bei der *Boucherot*-Brücke (Bild 117) den Wechselstromwiderstand ihrer Induktivitäten und Kapazitäten. Diese Schaltung eignet sich gleichzeitig zum Übergang von unsymmetrischer auf symmetrische Leitung und umgekehrt. Weitere Anordnungen für diesen Zweck sehen wir in Bild 118. Zu beachten ist, daß alle diese Anpassungsmaßnahmen nur bei ohmschen Verhältnissen Erfolg haben, also nur bei der Frequenz richtig sind, deren Wellenlänge man der Berechnung zugrunde legt.

Wenn mehrelementige Richtantennen (Yagis) mit ihren kleinen Fußpunktwiderständen an höherohmige Kabel angeschlossen werden sollen, denke man daran, daß der Austausch eines offenen Dipols gegen einen Faltdipol bereits eine Vervierfachung des Antennenwiderstandes bringt [44]. Oft ist das die einfachste Lösung. Zur experimentellen Anpassung eines offenen Dipols (Yagi) eignet sich eine Anordnung nach Bild 119, bei der der Dipol aus einem durchgehenden Stab von etwa halber Wellenlänge bestehen muß. Für übliche Dipole versucht man besser die „automatische Anpassung“ nach Munzig [42], bei der zwei  $\lambda/4$ -lange Enden durch unmittelbares Aufkleben auf die Kabelisolation eng an eine symmetrische Leitung angekoppelt werden (Bild 118d). Man kann bei Bandleitung versuchsweise auch mit einer  $\lambda/4$ -

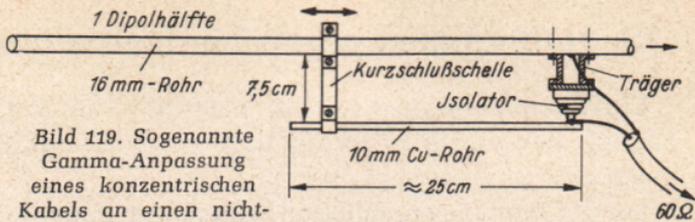


Bild 119. Sogenannte Gamma-Anpassung eines konzentrischen Kabels an einen nicht-unterbrochenen Dipolstrahler

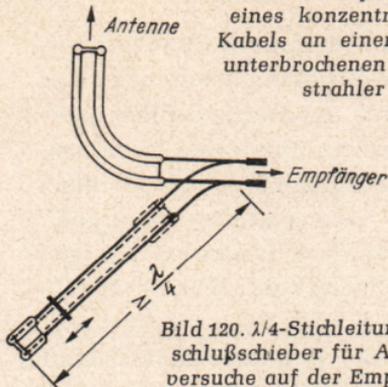


Bild 120.  $\lambda/4$ -Stichleitung mit Kurzschlußschieber für Anpassungsversuche auf der Empfängerseite (siehe auch Bild 68)

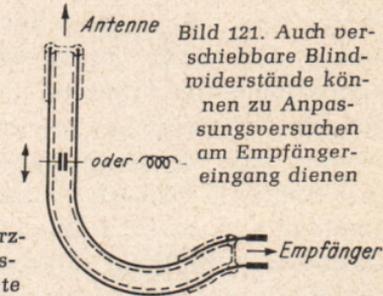


Bild 121. Auch verschiebbare Blindwiderstände können zu Anpassungsversuchen am Empfänger-eingang dienen

Stichleitung gemäß **Bild 120** arbeiten, bei der ein Kurzschlußschieber für größte Lautstärke bzw. größte Demodulatorausgangsspannung verschoben wird. Eine andere Möglichkeit, die mitunter erfolgreich ist, besteht in der Verschiebung einer kleinen Induktivität oder Kapazität längs der Bandleitung (**Bild 121**). In den beiden letzten Fällen macht man die Bandleitung nur an den Kanten blank und beläßt die Stegisolation zwischen den Leitern.

### c) Allwellenantennen mit geschirmter Zuleitung

Bei selbstgebauten Allwellenantennen fährt man am sichersten, wenn man den aperiodischen vom abgestimmten Teil der Antenne elektrisch trennt und jedes System für sich über getrennte Leitungen an die entsprechenden Empfänger-eingänge anpaßt. Will man mit einer gemeinsamen Empfängerzuleitung auskommen, so muß man die Trennung der Frequenzbereiche und die Anpassung durch Zwischenschalten käuflicher Weichen und Übertrager bzw. Symmetrierglieder sicherstellen. Industriell gefertigte Allwellenantennen werden mit passendem Zubehör fertig angepaßt geliefert, so daß man bei der Montage dieser Antennen keine Sorgen mit der Anpassung hat.

## 19. Maßnahmen gegen Laufzeitverzerrungen

Laufzeitverzerrungen sind uns beim AM-Empfang in Form von Fadings bekannt. Sie werden dort durch die Schwundregelung des Empfängers ausgeglichen.

Bei der Frequenzmodulation wirken sich dagegen Laufzeitverzerrungen, die bekanntlich durch das Zusammentreffen zweier Wellenzüge des gleichen Senders, aber unterschiedlichen Laufweges und daher verschiedener Laufzeit entstehen, weit unangenehmer aus. Während nämlich die durch sie hervorgerufene Amplitudenänderung im Begrenzer des Gerätes untergeht, machen sich die Laufzeitunterschiede als Phasenverzerrungen und somit als hörbare Verzerrungen bemerkbar. Beim Fernsehempfang wirken sich solche Laufzeitunterschiede störend als sog. Geister (Abschnitt 8a) im Fernsehbild aus. In allen Fällen kommt es darauf an, den einen (am besten den reflektierten) Wellenzug dadurch auszuschalten, daß man schärfer bündelnde Antennen verwendet und dementsprechend genauer ausrichtet.

Außer einer scharfen Bündelung in der Hauptempfangsrichtung muß eine Fernsehantenne ein hohes Vor-/Rück-Empfangsspannungsverhältnis besitzen, wenn Störungen oder reflektierte Wellenzüge von hinten auf die Antenne treffen können. Alle hiermit zusammenhängenden Fragen sind ausführlich im zweiten Teil dieses Buches behandelt.

Laufzeitverzerrungen können übrigens auch bei beiderseits fehlangepaßten Antennenzuleitungen auftreten.

Fehlanpassungen infolge von Flickstellen und anderen Stoßstellen mit Wellenwiderstandssprüngen wirken sich besonders im Fernsehbereich I aus wegen der dort relativ großen Kanalbandbreiten und niedrigen Leitungsverluste. Bei ausreichenden Feldstärken hilft hier mitunter das Zwischenschalten eines Dämpfungsgliedes (Bild 72), das ja die reflektierte Spannung mindestens zweimal dämpft.

Moiré-Störungen des Bildes stammen dagegen meist von der Oszillatorstrahlung älterer UKW-Geräte. Sie können evtl. mittels einer an die Empfänger-Antennenbuchsen angeschlossenen 50 cm langen Bandleitung, an deren Ende ein 30-pF-Trimmer sitzt, weggestimmt werden. Notfalls ermittelt die Bundespost den Störer.

## 20. Prüfung selbstgebafter Antennen

Es ist an dieser Stelle nicht möglich, in die im Laufe der letzten Jahre ziemlich umfangreich gewordene Antennenmeßtechnik einzuführen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Prüfung selbstgebafter Antennen nach der Montage und später in jährlichen Abständen dringend zu empfehlen ist, zumal die einschlägigen Vorschriften dem Antennenbesitzer nicht nur die ordnungsgemäße Errichtung, sondern auch die sachgemäße Wartung zur Pflicht machen.

Nach der Kontrolle auf Standfestigkeit der Antenne und sichere Zugentlastung der Zuleitung werden alle Kontaktstellen auf einwandfreie Verbindung und guten Feuchtigkeitsabschluß untersucht. Auch in die Kabelenden darf keine Feuchtigkeit eindringen können. Eine Schutzlackierung selbstgebafter Antennen mit einem Zelluloselack kann nichts schaden.

An die mechanische Kontrolle schließen sich einige einfache elektrische Prüfungen an. Zunächst wird mit einem Isolationsmeßgerät festgestellt, ob zwischen Antenne und Erde bzw. Kabelschirm (bei abgetrennten Übertragern!) ausreichende Isolation besteht. Ebenso werden die beiden Hälften eines offenen Dipols untereinander und gegen Erde geprüft. Bei Faltdipolen wird nach der Isolationsprüfung zweckmäßig der Gleichstromwiderstand zwischen den beiden empfängerseitigen Kabelanschlüssen kontrolliert; er soll nur wenige Ohm betragen und darf sich bei Bewegungen der Antenne oder der Zuleitung nicht ändern.

Zur Prüfung der Abschirmung kann man einen auf die Empfangsfrequenz abgestimmten Kreis mit Luftspule benutzen, der durch einen batteriegespeisten Summer erregt wird. Beim Abtasten der Leitung mit der Spule werden Lücken in der Abschirmung sofort im Empfänger hörbar.

Die Überprüfung von Gemeinschaftsanlagen ist nicht auf primitive Art möglich; sie erfolgt am besten nach der zugehörigen Montageanleitung und den VDE-Richtlinien [32; 45; 46]. Die Richtlinien Gemeinschafts-Antennenanlagen [48] enthalten u. a. auch Formblattvorschläge für einen Prüf- und Übergabebericht sowie für Antennenverträge.

Bei Fernsehantennen schließt sich noch ein Probeempfang an. Werden Geister<sup>1)</sup> sichtbar, so muß die Antenne sorgfältiger ausgerichtet werden, während das Erscheinen doppelter Bildkonturen (Plastik) auf unzureichende Anpassung der Antennen-zuleitung oder auf Stoßstellen in einem Verteilungsnetz hindeutet.

Wenn selbstgebaute Dipolantennen im Wind heulen, so hilft meist das Ausfüllen jeweils einer Elementhälfte mit Holz- oder Faserstoffen und der Verschluß aller offenen Rohrenden mit Gummistopfen oder -kappen.

Meßverfahren für Ton- und Fernsehgrundfunk-Empfangsantennen für 30 bis 1000 MHz sind in DIN 45003 genormt.

---

<sup>1)</sup> Bei 53- und 59-cm-Bildröhren entsprechen jeweils 10 mm Konturenabstand einem Reflexionsweg von etwa 320 m.

## Nachtrag

Während der Drucklegung dieses Buches führte die Deutsche Bundespost eine Genehmigung für Rundfunk-Empfangsantennenanlagen mit elektronischen Bauteilen (Verstärker, Frequenzumsetzer) ein und veröffentlichte die zugehörigen Technischen Vorschriften im Amtsblatt des Bundesministers für das Post- und Fernmeldewesen Nr. 84/1964 vom 17. 7. 1964.

Diese Vorschriften sollen einen störungsfreien Ton- und Fernsehgrundfunkempfang ermöglichen und sind von allen zu beachten, die mit Einzel- oder Gemeinschaftsanlagen mit Verstärkern oder Umsetzern zu tun haben.

## Abkürzungen

In den Tabellen und Bildunterschriften werden folgende Abkürzungen benutzt: A = Antenne, D = Dipol, F = Fernseh-, K = Kurzwellen, L = Langwellen, M = Mittelwellen, U = Ultrakurzwellen. „Dipol“ steht auch für mehrelementige Dipolantennen. In Bildunterschriften bedeuten: G = Gewinn, VR = Vor-/Rück-Verhältnis,  $W_A$  = Windlast (vgl. Tabelle 17), I = Bereich I, II = Bereich II (UKW) usw.

## Literaturverzeichnis

- [1] Siehe z. B. *Meinke*, *Das Elektron* 1948, S. 220, ferner: *Elektrotechnik* 1949, S. 29, 176.
- [2] *Vilbig*, *Lehrbuch der Hochfrequenztechnik* (1942), Bd. I, S. 461.
- [3] *Funktechnische Arbeitsblätter*, Sk 81 (Franzis-Verlag, München).
- [4] *L'onde électrique*, Dec. 1946, S. 387.  
*Zinke*, *Funk und Ton* 1948, S. 435.  
*Wireless Engineer*, August 1948.  
*Mallach*, *FTZ* 1949, H. 2, S. 33.  
*Funktechnik* 1948, S. 438, S. 601.  
*ETZ* 1948, S. 133.
- [5] *Schlayer*, *Telefunken Mitteilungen* 21/1940, Nr. 83, S. 35.
- [6] *Carson*, *Proc. I. R. E.* 17/1929, S. 952.
- [7] *Fränz*, *Telefunken Mitteilungen* 21/1940, Nr. 83, S. 54  
und *ETZ* 1944, S. 229.
- [8] *Bergtold*, *Antennenbuch*, München 1936.
- [9] *Bergtold*, *Div. Arbeiten in Funktechn. Vorwärts*, 7. Jahrgang.  
*Hormuth*, *Frequenz* 1949, S. 61 ff.
- [10] *Yourn. Appl. Phys.* H. 19/1948, S. 87 und 193.  
*Proc. IRE.* 37/1949, S. 263, ref. in *Frequenz* 1949, S. 251.  
*Communications* 29/1949, S. 6, 34, 35, ref. in *Das Elektron* 1950, S. 69.  
*Electronics*, Febr. 1950, S. 72 und *CQ* 1949, S. 214.  
*Mende*, *Funkschau* 1953, H. 13, S. 233.
- [11] *Frequenz* 1948, S. 202.  
*Elektrotechnik* 1949, S. 175.
- [12] *Radike*, *Funkschau* 1960, H. 10, S. 257.
- [13] *Weimer*, *Funkschau* 1960, H. 22, S. 557
- [14] *Terman*, *Radio Engineering Handbook*, McGraw-Hill Co., New York und London.
- [15] *Funkschau* 1954, H. 12, S. 238.
- [16] *Meinke*, *Das Elektron* 1948, S. 220.
- [17] *Electronics*, Oktober 1951, S. 84, ref. in *Funkschau* 1952, H. 11, S. 214.
- [18] *Mende*, *Funkschau* 1953, H. 13, S. 233.
- [19] *Ajsenberg*, *Kurzwellenantennen*, Fachbuchverlag Leipzig, 1954.
- [20] *Brown und Woodward*, *RCA Review*, Dezember 1952, S. 425 ff.
- [21] *Lohr*, *radio mentor* 1953, S. 272.
- [22] *Limann*, *Funkschau* 1954, H. 13 bis 17.

- [23] Hesselbach, Funk-Technik 1955, S. 179.  
Mende, Funkschau 1954, H. 12, S. 239.  
Funkschau 1954, H. 6, S. 114 u. a.
- [24] Fränz, Bd. 16 der FIAT-Berichte, Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstraße.
- [25] Höh, Radio-Magazin 1954, H. 7, S. 221.  
Mende, Funkschau 1953, H. 23, S. 459.  
Funkschau 1954, H. 16, S. 350.
- [26] Hesselbach, Radio-Magazin 1954, H. 9, S. 295.
- [27] Radio-Fernseh-Händler 1954, H. 18, S. 398.  
Techn. Hausmitt. d. NWDR 1955, H. 7/8, S. 154; s. a. [48].
- [28] Mende, Radio-Magazin 1954, H. 4, S. 113.
- [29] Bergtold, Radio-Magazin 1954, H. 4, S. 111.
- [30] Rothammel, Antennenbuch, Franck'sche Verlagshandlung, Stuttgart.
- [31] Radio-Magazin 1952, H. 2, S. 36, und Radio-Fernseh-Händler 1954, S. 398.
- [32] VDE 0855, Teil 1/9.59, Teil 2/3.61.
- [33] Schweitzer, Funkschau 1952, H. 2, S. 28.
- [34] Nach persönlichen Mitteilungen von Horst A. C. Krieger.
- [35] Blitzschutz, 7. Aufl., Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
- [36] Popular Mechanics, April 1951, S. 228.
- [37] Radio-Magazin 1952, H. 1, S. 29.
- [38] Funkschau 1951, H. 21, S. 427.
- [39] Pitsch, Lehrbuch der Funkempfangstechnik, 2. Aufl., §§ 463–468.
- [40] Goldammer, Funkschau 1951, H. 23, S. 450.
- [41] Kettel, Telefunken-Zeitung Nr. 94 (März 1952), S. 41.
- [42] Munzig, Electronics, November 1951, S. 340.
- [43] Bödeker, CQ 1950, S. 305.
- [44] Funktechnische Arbeitsblätter At 81.
- [45] Kneissl, Gemeinschaftsantennen-Baufibel, Franzis-Verlag, München 37.
- [46] VDE 0886 = Heft 5 der VDE-Schriftenreihe (Kopplungswiderstand).
- [47] VDE 0885 = Heft 6 der VDE-Schriftenreihe (Erläuterungen).
- [48] Richtlinien Gemeinschaftsanlagen, zu beziehen vom ZVEI, Nürnberg, Urbanstraße 40.
- [49] Schmidt, Funkschau 1960, H. 18, S. 470.  
Der Selbstbau von Dipolantennen wird auch in der Fachpresse beschrieben, z. B. Funkschau 1960, H. 18, S. 469.
- Ferner die Normschriften DIN 41 583, 41 588, 41 589, 45 030, 45 315, 45 316, 45 317, 47 261, 47 265, 47 301, 48 516, 48 818, 48 819, 48 836 und 48 885, jeweils neueste Ausgabe.

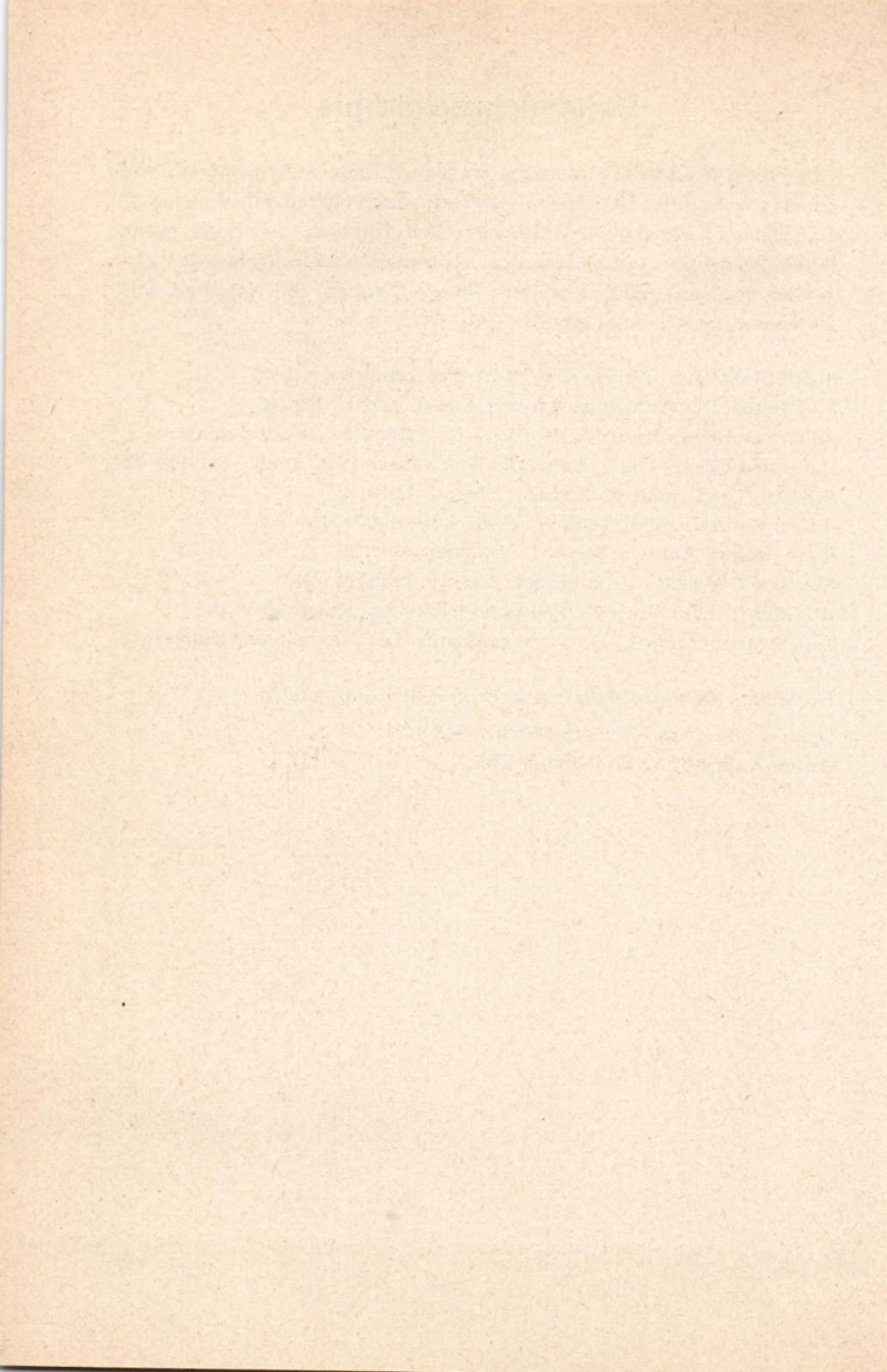
## Herstellerverzeichnis

In dieses Herstellerverzeichnis wurden Firmen aufgenommen, von denen verbindliche Unterlagen zur Verfügung standen. Die Leser werden gebeten, nur dann an die Hersteller Anfragen zu richten, wenn ihnen der örtliche Fachhandel nicht weiterhelfen kann. Neben den aufgeführten Firmen gibt es weitere Spezialfabriken, die Antennen und Antennen-Bauteile herstellen.

Bosch-Elektronik GmbH, 1 Berlin 31, Forckenbeckstr. 9-13  
Max Engels, 56 Wuppertal-Barmen, Oberbergische Str. 63  
Fuba Antennenwerke Hans Kolbe & Co., 3202 Bad Salzdetfurth  
Hackethal-Draht- und Kabelwerke AG, 3 Hannover, Stader Landstr. 69  
Richard Hirschmann, 73 Eßlingen/Neckar, Ottilienstr. 19  
Anton Kathrein, 82 Rosenheim/Obb., Luitpoldstr. 18-20  
Roka, Robert Karst, 1 Berlin 61, Gneisenastr. 27  
Siemens & Halske AG, 8 München 25, Hofmannstr. 51  
W. Sihn jr. KG (Wisi), 7532 Niefern-Pforzheim, Friedhofstr. 26  
Telo-Antennenfabrik, 2351 Trappenkamp über Neumünster/Holstein

*Hersteller für Blitzableiter- und Erdungsmaterial sind u. a.:*

Dehn & Söhne, 85 Nürnberg, Rennweg 11-15  
Anton Kathrein, 82 Rosenheim/Obb.



# Sachverzeichnis

## A

- Abgeschirmte Zuleitung 60, 61, 167, 183
  - Absorptionsfläche 84
  - Abspannseile 145, 156
  - Abstimmung 16, 19, 25
  - Allwellenantennen 47 ff., 75, 80, 128 ff., 154, 168, 171, 183
  - AM-Empfang 32, 176
  - Anpassung 22 ff., 25, 33, 42, 61, 71, 99 ff., 113 ff., 149, 178 ff.
  - Anschlußklemmen 94, 145, 148, 174
  - Antennenabmessungen 34 ff., 79 ff., 149 ff.
  - Antennenarten, -formen 11 ff., 55, 75 ff., 118 ff., 127 ff., 134
  - Antennenhöhe 20, 24, 25
  - Antennenlänge 23
  - Antennenspannung 22 ff., 72
  - Antennenstrom 22 ff., s. a. Stromverteilung
  - Antennenvertrag 98
  - aperiodische Antennen 16 ff., 128 ff.
  - Ausrichtung 71, 95, 159 ff.
  - Autoantennen 52, 143, 164, 176
- ## B
- Bandbreite 31, 33, 71, 73, 89 ff., 118, 135, 149
  - Bandleitung 53, 112, 153, 154, 164, 167, 180
  - Bandschellen 112, 157
  - Baukastenprinzip 92, 95
  - Begehbarkeit 134
  - Behelfsantennen 32, 55, 128 ff.
  - Betriebsfrequenz, -wellenlänge 16, 19
  - Bezirksempfang 129, 131
  - Blitzschutz 62, 97, 98, 158, 173 ff.
  - Bootsantennen 52, 143
  - Boucherot-Brücke 180, 182
  - Bündelung 30, 72, 84 ff., 118 ff., 184

## D

- Dachantennen 88, 119, 128 ff.
- Dachbodenantennen 128 ff., 140
- Dämpfung 20, 32, 90, 112
- Dämpfungsglieder 115
- Detektorempfang 10, 129
- Dezimeterantennen 26, 44, 46, 77, 118 ff., 149 ff.
- Dielektrische Antennen 13, 45, 47
- Dipol 12 ff., 18, 30 ff., 42, 46, 79 ff., 149 ff.
- Direktoren 30 ff., 84 ff., 149 ff.
- Dreiecksantenne 77
- Dreistabdipol 102, 149
- Durchhang 147

## E

- Ebenenabstand 104, 106, 107
- Ebenenzahl 85 ff.
- Eigenfrequenz, -welle 16, 18, 32, 36 ff., 90
- Eingangsschaltung 69
- Eingangswiderstand 22, 25
- Einkanalantenne 72, 118
- Einspannmoment 147
- Einwindungsrahmen 14
- Eisansatz 145
- Elementzahl 33, 85 ff., 104, 149
- Empfängeranschlußschnüre 170, 171
- Empfängereingang 22, 24, 25, 69
- Empfangsbedingungen 118 ff., 127 ff.
- Energiebilanz 22, 33
- Erde, Erdung 12, 17, 32, 55, 58, 63, 159, 173 ff.
- Erdkabel 135, 166, 167
- Exponentialleitung 108

## F

- Fahrzeugantennen 52, 54, 143
- Faltantennen 95 ff., 132
- Faltdipol 14, 30 ff., 135 ff.

Feldstärke 20, 22, 51, 58, 118 ff.  
Fensterantenne 82 ff., 122 ff.,  
129 ff.  
Fernempfang 129, 131  
Fernsehantennen 10, 28, 33 ff., 42,  
69 ff., 79 ff., 148 ff., 179  
Fernsehbereiche 46 ff., 72 ff., 75  
Fernsehkanäle 73, 150 ff.  
Ferrit-Antenne 11, 28, 35, 37, 56, 63  
Filter 64 ff.  
Flächenausnutzung 89  
Flickstellen 168, 184  
Frequenzbereiche 33, 48, 53  
Funkenstrecke 62, 159, 175, 176  
Fußpunktwiderstand 22, 33, 99 ff.,  
135, 149, 182

## G

Ganzwellendipol 14, 75 ff., 90, 101  
Gebäudeeinführung 172  
Gegengewicht 12, 63, 176  
Gehäuseantennen 56, 80 ff., 155  
Geister 70 ff., 110, 115, 119, 184, 186  
Gemeinschaftsanlagen 32, 48, 51,  
120, 132, 140, 165 ff., 169 ff., 178  
Gewinn 30 ff., 84 ff., 104, 118 ff., 149

## H

Haftpflicht 134  
Halbwellendipol 14, 19, 32, 75 ff.,  
90, 101  
Hauptempfangsrichtung 30, 71,  
88 ff.  
Hauseigentümer 60, 98, 132  
Hertz'scher Dipol 9, 12  
Hf-Leitungen 166  
Hohlraumleiter 46  
Hornantenne, -strahler 44, 46, 77

## I

Induktivität 16, 33, 34 ff., 46, 65,  
99, 108  
Innenantennen 55, 82, 122 ff.,  
128 ff., 142, 155, 163  
Isolatoren 112, 148, 153, 167, 172

## J

Johnson-Q-Antenne 38, 40

## K

Kabel 25, 53, 111, 165 ff.  
Kapazität 16, 33 ff., 46, 65, 99, 108,  
165, 178  
Kauschen 145  
Kompensationsinduktivität 56,  
82, 108, 149, 154, 155  
Konusantenne 77  
Kopplung 24, 59  
Korrosion 94, 145, 153  
Kreuzdipol 43, 137  
Künstliche Antenne 56  
Kurzwellenbereich 26, 32, 62,  
127 ff.

## L

Langdrahtantennen 10, 13, 14, 145,  
147, 156, 167  
L-Antenne 13, 23, 28, 34, 36, 156  
Laufzeitverzerrungen 31, 70 ff.,  
89, 115, 184  
L/C-Verhältnis 33, 36 ff., 100, 135  
Lebensdauer 144  
Leistungsgewinn siehe Gewinn  
Leistungsverlust 24, 104, 110, 121,  
179  
Leitung 11, 12, 25, 61, 64, 165 ff.  
Linsenantenne 46, 47  
Litze 145

## M

Mastantenne 130, 156 ff., 169, 175  
Mastverstärker 113  
Mehrebenenantennen 63, 92,  
104 ff., 138, 158  
Mehrfachreflexion 100  
Metalldach 61, 142  
Mietvertrag 132  
Mittelwellenantennen 28, 128 ff.  
Moiré-Störungen 184  
Montage 59, 92 ff., 156 ff., 169

## N

Nahfeldeinflüsse 18, 160, 180  
Nebenzipfel 139, 149  
Nutzwiderstand 22

## O

Oberflächenbehandlung 94, 144  
Oberwellen, -schwingungen 32  
Öffnungswinkel 88  
Offsetbetrieb 73  
Örtliche Gegebenheiten 130, 169  
Ortsempfang 129, 131, 155

## P

Parasitäre Elemente 30, 80 ff.,  
99 ff., 136  
Pegelanpassung 113 ff., 121  
Phasenverhältnisse 65, 92, 104, 184  
Planung 60, 72, 120, 169 ff.  
Plastik 70 ff., 108, 115, 149, 186  
Polarisation 28, 83  
Prasselschutz 50, 173  
Preis 89, 130  
Prüfung 185

## Q

Quasioptische Wellenausbreitung  
131  
Quasistationäre Stromverteilung  
16, 32, 91  
Quetschhülsen 148

## R

Rahmenantenne 11, 28, 35 ff., 56,  
63  
Rauschspannung 113  
Rechtsfragen 132  
Reflektor 28 ff., 84 ff., 149 ff.  
Reflexionen 46, 65, 70 ff., 82, 99,  
110, 115  
Reichweite 9  
Resonanz 16, 46  
Rhombusantenne 39, 41, 77  
Richtantennen 28 ff., 70 ff.  
Richtdiagramm 30, 86, 91

Richtkoppler 66  
Richtwirkung 36 ff., 88 ff.  
Ringantenne 14, 43, 48, 136  
Ringabelweiche 64  
Rohrmaste 146, 156 ff., 169, 172  
Rotor 161 ff.  
Rundempfangsantennen 28, 31, 86

## S

Schlankheitsgrad 102, 103  
Schlauchleitung 53, 112, 166, 168  
Schlitzantenne 13, 44, 46, 75  
Schmetterlingsantenne 43, 46, 75  
Schneeansatz 145  
Schornstein 94, 158  
Schwingungskreis 11, 16  
Selbstbau 62, 80, 90, 106, 110, 136,  
141, 144 ff., 178, 181, 185  
Sendeantenne 16, 17, 56, 59, 83  
Signal/Rausch-Verhältnis 15, 28,  
72, 84  
Signal/Stör-Verhältnis 15, 71, 115  
Spannungsgewinn siehe Gewinn  
Spannungsknoten 32  
Spannungsresonanz 90  
Speiseleitung 22, 25  
Spulenantenne 14, 28  
Stabantenne 13, 20, 32, 48, 128 ff.,  
167  
Störeinflüsse 28 ff., 54, 61, 88, 111,  
130, 173, 184  
Strahlungskopplung 31, 50, 99  
Strahlungswiderstand 17, 22, 25,  
33, 36 ff., 101, 104  
Strombauch 17, 19, 32, 101  
Stromverteilung 14, 16, 18, 20, 79,  
91  
Symmetrierglieder 53, 65, 108 ff.,  
179

## T

T-Antenne 13, 23, 34, 36, 43, 156  
Teleskopantenne 54, 126, 154  
Träger 149, 153, 156 ff.  
Transformationsleitung 25 ff., 100,  
104 ff., 149, 180

## U

- Überkreuzungen 134
- Über-Sichtweiten-Empfang 70, 88, 113
- Überspannungsableiter 62, 172 ff.
- Übertrager 26, 61, 109, 165, 172, 178
- UHF-Antennen siehe Fernsehantennen
- UKW-Antennen 10, 14, 26 ff., 33, 42, 48, 59, 70, 84, 100, 129 ff., 148 ff., 177 ff.
- Umsetzer 84, 117

## V

- V-Antenne 39, 41, 48, 75, 123
- Verkürzungsbügel 82, 138
- Verkürzungsfaktor 26, 65, 106, 181
- Verkürzung, Verlängerung 19, 25, 56, 80
- Verlustwiderstand 17, 22
- Verstärker 28, 51, 113 ff., 121, 169 ff.
- Vertikalantenne 12, 18, 34 ff.
- Vorführtantennen 83, 120, 122 ff.
- Vormontierte Antennen 95 ff., 132
- Vor-/Rück-Verhältnis 30, 71, 85 ff., 88, 110, 118 ff.
- Vorschriften 59, 132, 144 ff., 186

## W

- Weiche Dächer 134
  - Weichen 48, 64 ff.
  - Wellenverhältnis siehe Welligkeit
  - Wellenwiderstand 20, 26, 33, 36 ff., 61, 69, 90, 99 ff., 166 ff., 178 ff.
  - Welligkeit 46, 53, 90, 99, 107
  - Wendelantenne 14, 28, 44, 77
  - Werkstoffe 94, 144 ff.
  - Wetterfestigkeit 144, 153, 167
  - Winddruck, -last 97, 145, 157
  - Windom-Antenne 38, 40
  - Winkelreflektorantenne 75
  - Wirkfläche 84
  - Wirkleistung 22
  - Wirksame Höhe 17, 19 ff., 34 ff., 54
  - Wirkungsgrad 23
  - Wirkwiderstand 17, 90
- ## Y
- Yagi-Antennen 30, 46, 76 ff., 128 ff., 149 ff., 182
  - Y-Dipol 27, 39, 41
- ## Z
- Zeppelin-Antenne 38, 40, 42
  - Zimmerantennen 55, 63, 83
  - Zugfestigkeit 145
  - Zuleitungen 165 ff.
  - Zündstörungen 63, 88

## **Von HERBERT G. MENDE erschienen ferner:**

### **Die funktechnischen Berufe**

Ausbildung und Arbeitspraxis in Hochfrequenztechnik und Elektronik. 88 Seiten mit 10 Bildern und 8 Tabellen.

### **Elektronik und was dahinter steckt**

3. Auflage. 108 Seiten mit 70 Bildern.

### **Radar in Natur, Wissenschaft und Technik**

2. Auflage. 116 Seiten mit 33 Bildern und 2 Tabellen.

### **Leitfaden der Transistortechnik**

4. Auflage in Vorbereitung. 308 Seiten mit etwa 294 Bildern und 22 Tabellen.

### **Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker**

2. Auflage. 96 Seiten mit über 40 Bildern und mehr als 50 Tabellen.

### **Kristalldioden- und Transistoren-Taschen-Tabelle**

5. Auflage. 210 Seiten mit 84 Bildern.

### **Rundfunkempfang ohne Röhren**

Vom Detektor zum Transistor. 11. Auflage.  
128 Seiten mit 94 Bildern und 9 Tabellen.

### **Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang**

11. Auflage. 68 Seiten mit 36 Bildern und 7 Tabellen.

### **Praktischer Antennenbau**

10. Auflage. 72 Seiten mit 38 Bildern und 9 Tabellen.

### **Fernsehintennen-Praxis**

8. Auflage. 68 Seiten mit 43 Bildern und 6 Tabellen.

### **Kleines Praktikum der Gegenkopplung**

4. Auflage. 64 Seiten mit 33 Bildern und 4 Tabellen.

### **Funk-Entstörungs-Praxis**

3. Auflage. 72 Seiten mit 43 Bildern und 6 Tabellen.

*Bitte verlangen Sie ausführliche Prospekte und die neuesten Preislisten*

**FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN**

*Eine sehr nützliche Broschüre  
über die Praxis  
der Gemeinschaftsantennen-  
Installation*

**Gemeinschaftsantennen-  
Baufibel**

für Architekten, Bautechniker und Installateure

Von A. Kneissl

36 Seiten mit 23 Bildern, **Preis 2.50 DM**

Gemeinschaftsantennen haben heute schon eine große Bedeutung erreicht und werden mit der weiteren Verbreitung des Fernsehens noch mehr an Bedeutung gewinnen. Daher werden sich immer mehr mit den Problemen der Gemeinschaftsantennen befassen. Nicht nur den Hochfrequenztechniker oder Elektriker, der die Planung und Montage solcher Anlagen durchführt, betreffen diese Fragen, auch der Architekt und Bautechniker müssen über den Einbau von Gemeinschaftsantennen Bescheid wissen. Die wichtigsten Einzelheiten, die dabei zu beachten sind, wurden hier in kurzer Form zusammengestellt.

**FRANZIS - VERLAG · MÜNCHEN**

