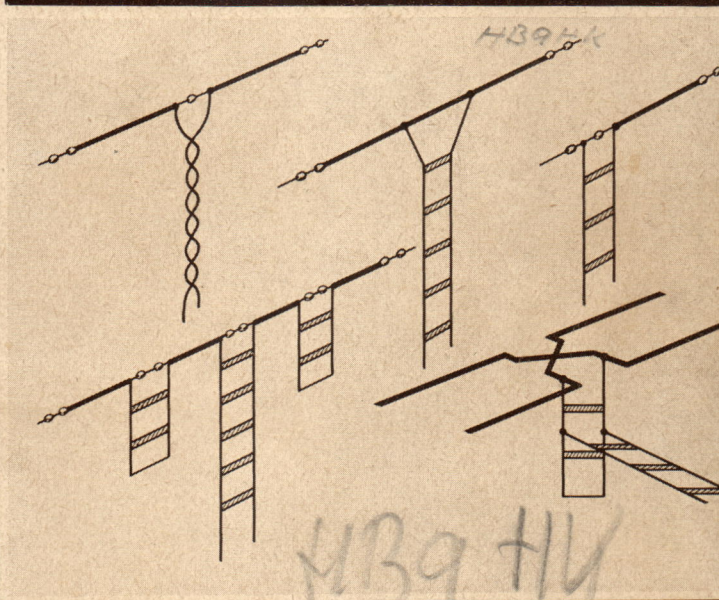




DARC

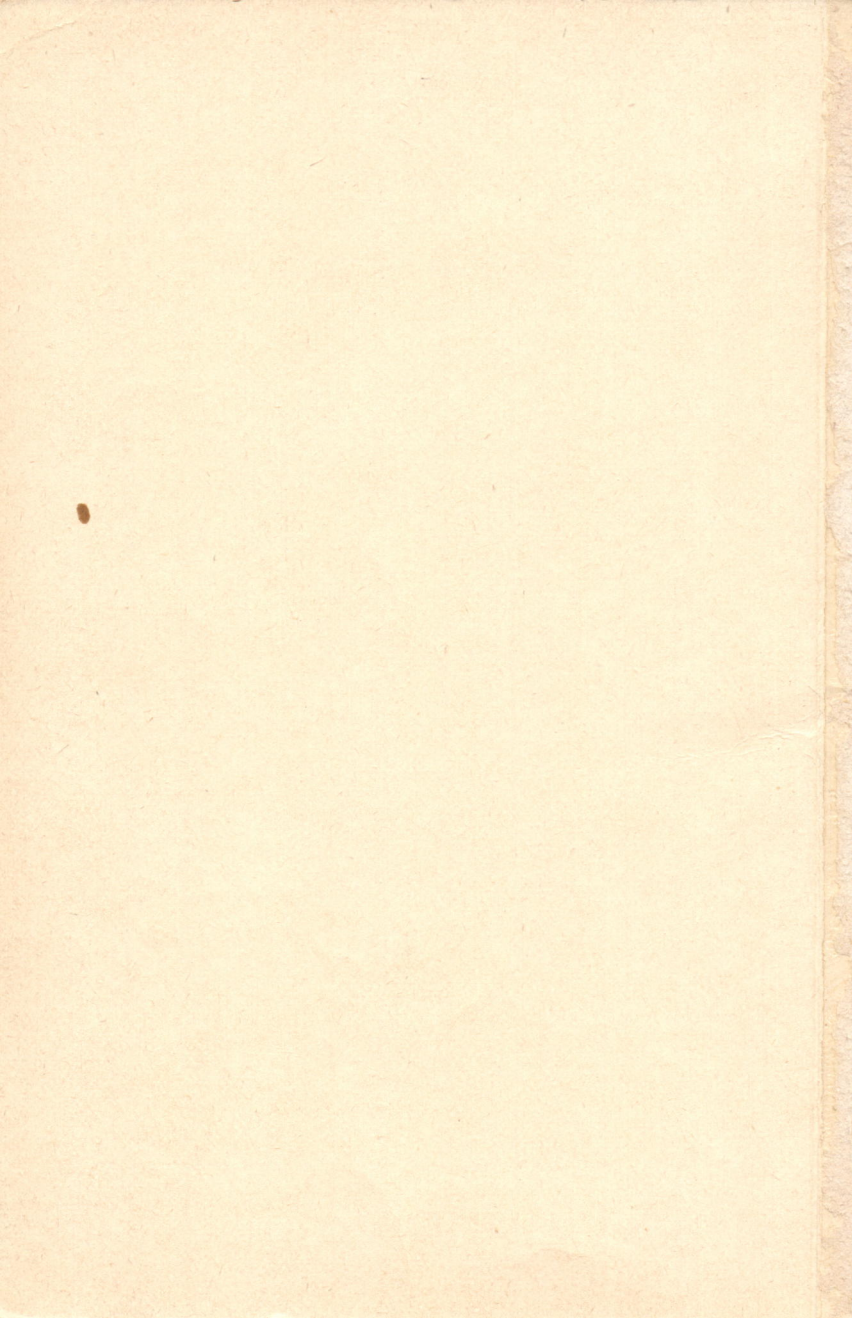
Amateürfunk

BÜCHEREI



W. W. Diefenbach

KURZWELLEN-
AMATEURANTENNEN



14. MRZ. 1954

RADIO HB96S
Frey Adalbert Tel. 28368
LUZERN

Kurzwellen-Amateurantennen

für Sendung und Empfang

Von

WERNER W. DIEFENBACH

Mit 76 Bildern und 8 Tabellen

2. und 3. Auflage



FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

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

Heft 44 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

1953

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 2, Luisenstraße 17

Vorwort

Die Antennentechnik gehört zu den interessantesten Zweigen des KW-Amateurwesens, da sie dem Sendeamateur zeigt, wie man auch bei bescheidenem Geräteaufwand große Reichweiten erzielen kann. Die Erfahrung beweist, daß oft erst nach zeitraubenden und kostspieligen Versuchen jene Erkenntnisse gewonnen werden, die notwendig sind, um für den jeweiligen Aufstellungsort der Sende- und Empfangsstation die günstigste Antenne zu ermitteln. Das vorliegende Buch stellt sich die Aufgabe, im Rahmen des zur Verfügung stehenden Raumes dem experimentierenden Amateur und Techniker theoretische Grundlagen und insbesondere aus langjähriger Praxis gewonnene Erfahrungen zugänglich zu machen.

Nach einer Erörterung der zum Verständnis der Wirkungsweise von Antennen notwendigen allgemeinen Grundlagen geht das Buch auf die vor allem vom Anfänger vielfach benutzten einfachen KW-Antennenformen ein (z. B. Fuchs-Antenne, Windom-Antenne, Zeppelin-Antenne usw.), wobei auch Spezialantennen für transportable Stationen berücksichtigt werden, und beschreibt ausführlich die verschiedenen Arten gebräuchlicher Richtantennen. Weitere Kapitel sind der Ankopplung von Sendeantennen und den KW-Empfangsantennen gewidmet.

Da der ernsthaft arbeitende Praktiker ohne genaue Kenntnis der Strahlungsdiagramme von KW-Antennen und ohne Messungen einfacher Art beim Abgleichen der Antennen nicht auskommt, wurden die wichtigsten Strahlungsdiagramme horizontaler und vertikaler Dipole sowie üblicher Richtantennen aufgenommen.

Ein ausführlich gehaltenes Kapitel gibt aus der Praxis bewährte Ratschläge für den Aufbau von KW-Antennen. Es enthält u. a. konstruktive Angaben für zweckmäßige Antennenbefestigung und -einführung, für den Bau von Masten und Dreh-Richtstrahlern.

Kurzwellenamateure beschäftigen sich vielfach auch mit der Technik des 2-m-Bandes. Es wurden daher auch für diesen Bereich geeignete Antennen unter Berücksichtigung der Richtantennentechnik in Theorie und Praxis beschrieben.

Möge das Antennenbuch der „RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI“ dazu beitragen, dem KW-Freund die Wahl der richtigen Antenne zu erleichtern und Leistungsfähigkeit sowie Erfolge der KW-Amateurstationen zu steigern!

Kempton/Allgäu

Werner W. Diefenbach
DL 5 VD
(exD 4 BEP, D 4 MXF)

Inhalt

Einführung	5
<i>I. Allgemeine Grundlagen</i>	6
1. Wellenwiderstand, fortschreitende und stehende Wellen	6
2. Strahlungswiderstand, Verlustwiderstand	9
3. Kapazität, Induktivität, Eigenwelle	11
4. Speiseleitungen	13
<i>II. Einfache KW-Antennenformen</i>	16
1. Marconi-Antenne	16
2. Fuchs-Antenne	17
3. Windom-Antenne	18
4. Dipolantennen mit Speiseleitungen	21
5. Zeppelin-Antenne	26
6. Transportable Antennen	27
<i>III. Bewährte Richtantennen</i>	29
1. Kollinear-Antennen	29
2. Dipole mit parasitären Elementen	30
3. Parallel-kollineare Dipole	34
4. Langdrahtantennen	36
<i>IV. Ankopplungsarten von Sendeantennen</i>	39
1. Ankopplung von Linearantennen	40
2. Ankopplung von Antennen mit abgestimmten Speiseleitungen	41
3. Ankopplung von Antennen mit unabgestimmten Speiseleitungen ..	42
4. Link-Kopplung	42
5. Collins-Filter	43
<i>V. Strahlungsdiagramme</i>	45
1. Strahlung oberwellencregter Horizontal-Dipole	45
2. Strahlung von Vertikalantennen	47
3. Strahlung von Richtantennen	47
<i>VI. KW-Empfangsantennen</i>	48
1. Verwendung von Sendeantennen für den Empfang	48
2. Empfangsdipol	49
3. V-Empfangsantenne	50
<i>VII. Messungen an Antennen</i>	50
1. Strom- und Spannungsmessungen	50
2. Feldstärkemessungen	51
3. Anzeige von stehenden Wellen	51
4. Messen des Strahlungswiderstandes	52
<i>VIII. Ratschläge für den praktischen Aufbau von KW-Antennen</i>	53
1. Material	53
2. Antennenbefestigung an Bäumen und Schornsteinen	54
3. Konstruktion einer Dachfirstbefestigung	55
4. Einfache Mast-Konstruktionen	56
5. Aufrichten von Antennenmasten	57
6. Antennenbefestigung und -einführung	58
7. Konstruktion von Dreh-Richtstrahlern	60
8. Vorschriften und Haftpflicht	62
Literaturverzeichnis	63

Einführung

Schon die Empfangstechnik im MW-Bereich bietet Beispiele für die große Bedeutung, die der richtigen Antenne zukommt. Verwendet man statt einer leistungsfähigen, zweckmäßig bemessenen Empfangsantenne etwa ein kurzes Stück Draht, so sinken Empfangsleistung, Störfreiheit und Konstanz des Rundfunkempfangs beträchtlich ab.

Auch der KW-Amateur macht beim Empfang auf den einzelnen Amateurbändern ähnliche Erfahrungen. Mit behelfsmäßig errichteten Antennen gelingt nur in Sonderfällen bei günstigen Ausbreitungsverhältnissen erstklassiger Empfang aus weit entfernten Ländern, während die gute KW-Hochantenne regelmäßig DX-Empfang¹⁾ liefert.

Für den Sendeamateur aber ist die richtige Sendeantenne von ausschlaggebender Bedeutung. Da der Sendeleistung jeder Station gemäß dem Amateurfunkgesetz Grenzen gesetzt sind, kann eine wesentliche Lautstärkeerhöhung nur durch günstige Abstrahlung der Hf-Energie über eine genau angepaßte Sendeantenne erreicht werden. Mancher Sendeamateur hat infolge ungünstiger Sendeantennen jahrelang keine wesentlichen Reichweitenerfolge erringen können und erst nach Aufstellen einer ausreichend hohen und genau berechneten Spezialantenne die gewünschten DX-Ergebnisse erzielt.

Ein dankbares Betätigungsfeld stellt in dieser Beziehung der Bau von Richtantennen dar. Auch mit verhältnismäßig einfachen Anordnungen ergeben sich Lautstärkeerhöhungen bis zu vier Lautstärkestufen ohne Vergrößerung der Sendeleistung. Solche Richtantennen verwenden ausländische Amateure seit vielen Jahren mit größtem Erfolg, und auch in Deutschland setzen sich Richtantennen für die 20-, 10- und 2-m-Bänder immer mehr durch.

In der Amateurpraxis hat es sich bewährt, die Sendeantenne gleichzeitig als Empfangsantenne zu benutzen, um einen einwandfreien Empfang der Gegenstation sicherzustellen. Viele Amateure besitzen ferner weitere Antennen, die für optimale Abstrahlung auf verschiedenen Bändern bestimmt sind.

¹⁾ DX = Große Entfernung.

I. Allgemeine Grundlagen

Bei der Planung von Sendeantennen kommt der KW-Amateur ohne die wichtigsten theoretischen Grundlagen nicht aus, so daß zum Verständnis der später beschriebenen Antennenarten einige Grundbegriffe der Antennen-Theorie betrachtet werden sollen.

1. Wellenwiderstand, fortschreitende und stehende Wellen

Die sich auf Antennen abspielenden Vorgänge können mit Hilfe der Leitungstheorie mit praktisch ausreichender Genauigkeit beschrieben werden. Die Leitungstheorie stützt sich auf die *Maxwellschen Gleichungen*, deren Behandlung hier zu weit führen würde. Zum Verständnis der Vorgänge sollen die physikalischen Erscheinungen auf einer Doppelleitung erörtert werden.

Jeder Leiter besitzt eine bestimmte Induktivität, die sich gleichförmig über die Leitung verteilt und mit wachsender Leitungslänge zunimmt. Parallel ausgespannte Leitungen haben ferner eine Kapazität, die gleichfalls mit wachsender Leitungslänge zunimmt. Das Ersatzschaltbild der Doppelleitung (**Bild 1**) zeigt, daß man sich Induktivität und Kapazität aus einer Reihe kleinster Einzelinduktivitäten ($L_1 \dots L_6$) und winziger Kapazitäten ($C_1 \dots C_4$) zusammengesetzt denken kann.

Vernachlässigt man die durch Dämpfung auftretenden Verluste, was bei kurzen Leitungen meist tragbar ist, so errechnet sich der an den Eingangsklemmen herrschende Widerstand aus

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ (}\Omega\text{)}$$

Wie aus der Formel hervorgeht, hängt dieser als *Wellenwiderstand* bezeichnete Wert Z nicht von der Länge der Leitung, sondern von der Induktivität und Kapazität je Längeneinheit ab. Z läßt sich aus den Abmessungen der Leitungen berechnen, indem man die Formeln für die Induktivitäten und Kapazitäten der einzelnen Leitungsausführungen in obengenannte Gleichung einsetzt.

Der Wellenwiderstand einer Doppelleitung (Bild 2) ist

$$Z = 120 \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{2D}{d} \text{ (}\Omega\text{)}$$

In dieser Formel bedeutet ϵ die Dielektrizitätskonstante des zwischen den Leitungen befindlichen Isolators.

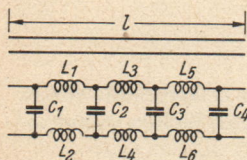


Bild 1. Doppelleitung und Ersatzschaltbild

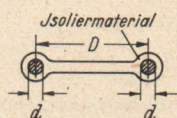


Bild 2. Doppelleitung im Querschnitt

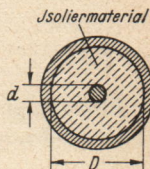


Bild 3. Konzentrische Leitung (Querschnitt)

Aus der Gleichung

$$Z = 60 \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{D}{d} \text{ (}\Omega\text{)}$$

errechnet sich der Wellenwiderstand für eine konzentrische Rohrleitung mit einem Querschnitt gemäß Bild 3.

Eine mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossene Leitung kann eine beliebige Länge haben. Schließt man einseitig eine Stromquelle mit der Spannung U an, so entsteht bei der verlustlosen Doppelleitung am Abschlußwiderstand die elektrische Leistung

$$N = \frac{U^2}{Z}$$

In diesem Zustand sind Strom und Spannung an allen Stellen der Leitung gleich groß. Es treten *fortschreitende Wellen* auf. Allerdings ist die Anpassung kritisch. Man muß in der Praxis darauf achten, daß Wellenwiderstand und Abschlußwiderstand *genau gleiche* Werte haben. Am Ende der Leitung findet dann keine Reflexion, sondern eine Absorption statt.

Wenn die Permeabilität des Leitungsmaterials $\mu = 1$ und die Dielektrizitätskonstante $\epsilon = 1$ sind, entspricht die Fortpflan-

zungsgeschwindigkeit v der Welle wie im freien Raum der Lichtgeschwindigkeit c . Andernfalls wird $v < c$. Dann ist

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}} \text{ (m/sec)}$$

Die Laufzeit τ , die beansprucht wird, bis die Energie auf der Leitung die Wegstrecke λ durchlaufen hat, ergibt sich aus

$$\tau = \frac{\lambda}{v} \text{ (sec)}$$

Bild 4 zeigt die Schwingungsvorgänge für Zeitabstände von $\frac{1}{8}$ Periodendauer, wie sie für fortschreitende Wellen charakteristisch sind.

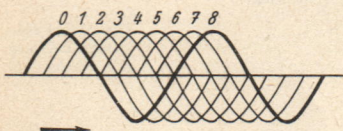


Bild 4. Schwingungsvorgänge für Zeitabstände von $\frac{1}{8}$ Periodendauer bei fortschreitenden Wellen

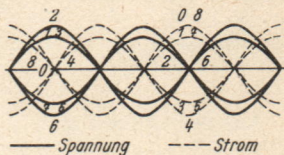


Bild 5. Bei stehenden Wellen ändern sich die Ausschläge mit der Frequenz der Schwingungen

istisch sind. Nach Ablauf einer Periodendauer ist die fortschreitende Welle um eine ganze Wellenlänge weitergewandert. Man erkennt ferner, wie Strom- und Spannungswelle in gleicher Weise über die Leitung fortschreiten.

Stehende Wellen bilden sich auf einer verlustfreien Leitung bei Leerlauf, Kurzschluß oder bei Blindbelastung aus. Eine solche Leitung vermag in der positiven Halbperiode der Wechselstromquelle nur jene Energie aufzunehmen, die dem Arbeitsinhalt des elektrischen und magnetischen Feldes entspricht. In der negativen Halbperiode fließt diese Energie wieder in die Stromquelle zurück und wird also reflektiert. Es bilden sich auf der Leitung zwei Wellenzüge aus, eine hinlaufende und eine reflektierte Welle, die sich überlagern und im Abstand von $\lambda/2$ auslöschen. Bei Messungen kann man im Abstand von $\lambda/2$ Strommaxima bzw. Spannungsminima feststellen.

Wie aus **Bild 5** hervorgeht, liegen die Knotenpunkte und Schwingungsbäuche bei stehenden Wellen fest, wobei sich nur

die Ausschläge mit der Frequenz der Schwingungen ändern. Das Bild zeigt die Schwingungsvorgänge für Zeitabstände von je $\frac{1}{8}$ Periodendauer.

Wenn am Leitungsende keine völlige Reflexion oder Absorption eintritt, bildet sich eine Wellenverteilung aus, die man als *pseudostehende* oder als *pseudofortschreitende* Welle bezeichnet. In diesem Fall ist die reflektierte Welle kleiner als die fortschreitende. Die Minima erreichen nicht mehr Nullwerte. Es entstehen Pseudoknoten. In der Praxis muß diese Wellenverteilung vermieden werden. Sie tritt meist bei ungünstigen Anpassungsverhältnissen auf.

2. Strahlungswiderstand, Verlustwiderstand

Ein besonders für die Sendetechnik wichtiger Größenwert ist der Strahlungswiderstand. Dieser läßt sich aus der für Vertikalantennen gültigen Rüdenbergschen Gleichung

$$R_s = 1579 \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 (\Omega) \quad \left| \quad \begin{array}{l} h = \text{wirksame Antennenhöhe} \\ \lambda = \text{Wellenlänge} \end{array} \right.$$

berechnen. Man kann sich den Strahlungswiderstand gewissermaßen als einen in den Strombauch der Antenne eingeschalteten Widerstand vorstellen, der die Strahlungsleistung verbraucht.

Aus der Formel erkennt man die starke Abhängigkeit des Strahlungswiderstandes von der Wellenlänge (siehe Tabelle).

Strahlungswiderstand in Abhängigkeit von der Wellenlänge für eine effektive Antennenhöhe von 50 m

Wellenlänge λ	Strahlungswiderstand R_s
1000 m	3,8 Ω
400 m	24,7 Ω
100 m	39 Ω
10 m	390 Ω

Im KW-Bereich wird der Strahlungswiderstand so groß, daß man auch mit geringer Energie und bei Anwendung von Antennen geringer wirksamer Antennenhöhen große Entfernungen überbrücken kann.

In der Praxis erreicht man in der Regel nicht die aus der Rüdberg'schen Gleichung errechneten Werte. Die oben angegebene Formel berücksichtigt zwar den Einfluß der Antennenhöhe über dem Erdboden, wie auch aus **Bild 6** hervorgeht, das

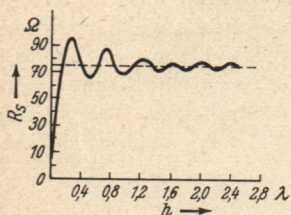


Bild 6. Einfluß der Antennenhöhe auf den Strahlungswiderstand

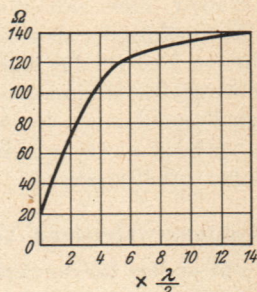


Bild 7. Abhängigkeit des Strahlungswiderstandes von der Antennenlänge

den Strahlungswiderstand einer $\lambda/2$ -Horizontal-Antenne in Abhängigkeit von der Höhe zeigt, nimmt jedoch auf die Energieabsorption in der Nähe der Sendeantenne keine Rücksicht. Diese kann je nach örtlichen Verhältnissen so bedeutend sein, daß sich der Strahlungswiderstand um 30...35% verringert.

Wie aus der Formel

$$R_s \approx 75 \sqrt[4]{z}$$

$z =$ Ordnungszahl der Harmonischen

hervorgeht, ist der Strahlungswiderstand andererseits von der Antennenlänge abhängig und nimmt mit der Ordnungszahl der Harmonischen zu (vgl. **Bild 7**). Allgemein weisen längere Antennen einen höheren Strahlungswiderstand auf als kurze Antennen. Auch aus diesem Grund verwendet der KW-Amateur vielfach längere Antennen, die in Harmonischen erregt werden und eine besonders gute Abstrahlung der Raumwellen gestatten.

Von Bedeutung ist ferner der *Verlustwiderstand*, den man sich aus verschiedenen Einzelwiderständen zusammengesetzt denken kann. Ein großer Teil der Antennenverluste läßt sich z. B. auf den ohmschen Widerstand des Antennendrahtes zurückführen. Ein gewisser Prozentsatz an Hf-Energie geht ferner durch dielektrische Verluste verloren.