

# HF-Erde für kleine Vertikalantennen

Dipl.-Ing. HORST-DIETER ZANDER – DJ2EV

Im Beitrag „Kleine Vertikalantenne für den gesamten KW-Bereich“ [1] wurde ein kleines, jedoch sehr wirksames Erdnetz beschrieben. Nachfolgend sind eine Reihe von Informationen aus verschiedenen Literaturstellen zu dem Thema HF-Erde für Vertikalantennen zusammengestellt, die als Grundlage für die Konzeption und Realisation anderer Erdnetze dienen können.

Bei der HF-Abstrahlung einer gegen Erde betriebenen vertikalen Antenne treten HF-Erdströme in Richtung zum Strahlerfußpunkt auf. Je nach Bodenbeschaffenheit ist der Ausbreitungswiderstand in der Erde mehr oder weniger groß. Am Erdwiderstand entsteht ein Spannungsgefälle, und es treten Stromwärmeverluste auf, die den Antennenwirkungsgrad herabsetzen. Dabei ist die Stromdichte in der Nähe des Antennenfußpunkts am größten, weil dort die Erdströme radial zusammenlaufen. In diesem Bereich entstehen deshalb auch die größten Verluste. Die Eindringtiefe der Hochfrequenzstrahlung in den Erdboden ist von der Bodenleitfähigkeit und der Frequenz abhängig (Skinneffekt), s. [7], S. 518, Bild 15.3. Sie beträgt z.B. für 1,8 MHz bei mittlerer Bodenleitfähigkeit nur wenige Meter und nimmt mit zunehmender Frequenz schnell ab.

## ■ HF-Erde

Für die HF-Leitfähigkeit des Bodens gibt es äußerlich keine prägnanten und sicheren Kennzeichen. Lehm-, Marsch-, Ton-Böden haben z.B. eine um zwei bis drei Größenordnungen höhere HF-Leitfähigkeit als Wiesenboden oder Süßwasser. Die HF-Leitfähigkeit der meisten Böden liegt jedoch, je nach Bodenbeschaffenheit, nur bei 1 % bis 0,01 % derjenigen von Seewasser ([7], S. 514, Tabelle 14.1).

Eine gute HF-Erde soll den in Oberflächennähe fließenden Erdrückströmen einen gut leitenden Ausbreitungsweg bieten und damit die Stromverluste möglichst unabhängig von der Bodenleitfähigkeit machen. Ein Tiefenerder (z.B. Rohrerder) kann diese Bedingung nicht erfüllen; dafür kommt nur ein Oberflächen-Erdnetz in Frage. Günstigenfalls werden vom Fußpunkt der Antenne Drähte möglichst strahlenförmig (wie die Speichen eines Rades) auf der Erde ausgelegt oder in geringer (!) Tiefe eingegraben. Der Erdstrom verteilt sich dabei zum Teil auf das Erdreich, zum Teil auf die Drähte.

Durch den Erdboden werden die Radials so stark bedämpft, daß eine Resonanz mit der den Strahler erregenden Hochfrequenz nicht auftreten kann. Eine exakte Längenbemessung der Erdradials (bezogen auf die Wellenlänge) ist daher ganz unnötig.

In der Literatur, [4], [5], [7], sind Zahlenwerte für verschiedene Messungen im Zusammenhang mit Erdnetzen angegeben. Diese Zahlenwerte sind jedoch nicht ohne weiteres übertragbar und miteinander kompatibel, da sie aus verschiedenen Quellen stammen. Zum Teil sind auch die Parameterangaben unvollständig, und es wird auf andere (schwer verfügbare) Literatur weiterverwiesen. Die Angaben zeigen jedoch Größenordnungen und Tendenzen. Auf die schwierige Messung des Erdwider-

standes auf der Arbeitsfrequenz wird hier nicht näher eingegangen.

## ■ Allgemeine Hinweise für ein Erdnetz

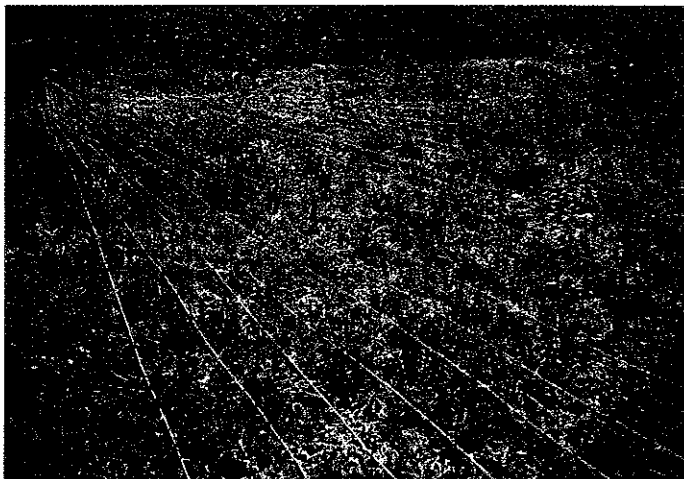
Im folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse – u.a. aus den Literaturstellen [2], [3], [4] und [7] zusammengefaßt:

- Bei gegebenen Radiallängen und zunehmender Radialzahl steigt der in den Radials fließende Strom an.
- Bei gegebener Radialzahl steigt der Strom im Erdreich in größeren Abständen vom Antennenfußpunkt erst langsam, dann stärker an (der Abstand zwischen den „Radialspeichen“ wird immer größer). Daher hat es von einem gewissen Abstand vom Strahlerfußpunkt nur noch wenig Zweck, die Radiallängen zu vergrößern. → „Optimale Radiallängen“ (s. Tabelle 1).
- Da die Eindringtiefe der HF in den Boden mit zunehmender Frequenz abnimmt, ist bei kurzen Wellen eine größere Radialzahl erforderlich als bei langen, um denselben Stromverteilungseffekt zu erzielen.
- Die Drahtdicke hat (bei mehr als etwa sechs Erd-Radials) nur noch geringen Einfluß auf die Stromverteilung
- Der verlustvermindernde Einfluß einer besseren Bodenleitfähigkeit ist nicht so groß, wie es nach der Änderung der Leitfähigkeit allein zu erwarten wäre.
- Für kurze Antennen ( $h < 0,25 \lambda$ ) und mittlere Bodenleitfähigkeit stellen, unabhängig von der Wellenlänge, etwa 120 Radials von  $0,5 \lambda$  Länge den optimalen Kompromiß dar.

## ■ Hinweise für ein individuelles Erdnetz

Da wohl nur sehr wenige Funkamateure ein umfangreiches Erdnetz verwirklichen können, ist die Frage nach Hinweisen für ein „abgemagertes, optimales“ Erdnetz zu stellen. Dazu finden sich u.a. in [3] und [4] folgende Angaben:

- 120 Radials wären ideal. 15 Radials sind als Minimum anzustreben.
- Mit Verringerung der Radialzahl steigt der Erdwiderstand.
- Die „optimale Länge“ verringert sich mit abnehmender Radialzahl (s. auch Tabelle 1).
- Bei 15 Radials ist eine Länge von  $\lambda/8$  ausreichend.
- Bei zwei Radials ist kaum ein Einfluß der Länge feststellbar.

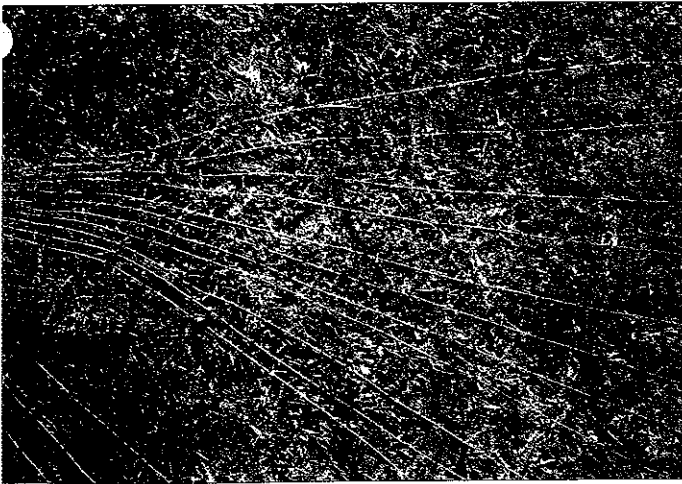


Teilansicht des Radialsystems von [1]

Tabelle 1: Optimale Radiallängen

Anz. d. Radials	4	12	24	48	96	120
opt. Länge [ $\lambda$ ]	0,1	0,15	0,25	0,35	0,45	0,5

nach [4], S. 11 bis 27, Tabelle 11



Um die Radials z.B. zum Rasenmähen bequem aufnehmen und wieder geordnet verlegen zu können, wurden die einzelnen Drähte durch „Kaninchengitter“ gefädelt.

Fotos: DJ2EV

- Viele kurze Radials sind besser als wenige lange.
- Die Radials sollten möglichst so lang wie der Strahler, besser: 1,5mal so lang sein.

**Wirkungsgrad**

Der elektrische Wirkungsgrad einer Vertikalantenne wird durch die Gleichung

$$\eta = \frac{R_s}{R_s + R_v}$$

definiert. Hierbei bedeuten  $R_s$  – Strahlungswiderstand und  $R_v$  – Verlustwiderstand. Der Verlustwiderstand  $R_v$  besteht im wesentlichen aus dem Erdwiderstand. Hinzu kommen die ohmschen Verluste des Strahlers. Bei elektrisch kurzen Antennen ( $< 0,25 \lambda$ ) wird der negative Einfluß des Erdwiderstandes auf den Wirkungsgrad stark wirksam, da  $R_s$  sehr niedrige Werte annehmen kann.

Typische Werte des Erdwiderstandes liegen für kleine Radialsysteme (15 oder weniger Radials) bei 5 bis 30  $\Omega$  für kurze Antennen von 0,05 bis 0,25  $\lambda$  [3].

**Zusammenfassung**

Die in Tabelle 3 zusammengestellten berechneten Werte bestätigen, daß sich auch bei einem kleinen Erdnetz (15 oder weniger Radials) die „Verluste“, in S-Stufen ausgedrückt, in durchaus akzeptablem Rahmen halten.

**Tabelle 2:**  
Strahlungswiderstand kurzer Antennen

$l/\lambda$	0,02	0,05	0,10	0,20	0,25
$R_s$ [ $\Omega$ ]	0,16	1	4,2	20	36,7

nach [6], S. 48

**Tabelle 3: Beispiele für den elektrischen Wirkungsgrad**

Band	h	$R_s$	$R_v$	$\eta$	Verlust
[m]	[h/ $\lambda$ ]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]	[%]	[dB] [S-St.]
40	0,2	20	10	67	1,8 < 1/3
80	0,1	4,2	15	22	6,6 $\approx$ 1
160	0,05	1	20	4,8	13,2 $\approx$ 2

Strahler mit  $h = 8$  m gerechnet,  
 $R_v$  mit angenommenen Werten

Die Kenntnis der vorgestellten Informationen ermöglicht es, auch für kleine Vertikalantennen einen den örtlichen Möglichkeiten angepaßten Kompromiß für ein Erdnetz zu finden. Mir persönlich ist solch ein optimaler Kompromiß für meine Antennenanlage unter den örtlichen Gegebenheiten am wichtigsten. Mein „QSO-Wirkungsgrad“ ist für mich von Bedeutung und nicht denkbare elektrische Wirkungsgrade von Antennen, die sich unter meinen Randbedingungen doch nicht realisieren lassen.

Ein Erdnetz-Kompromiß (36 Drähte aus isolierter Kupferlitze der Kfz-Elektrik mit 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt und 4 bis 11 m Länge, radial über 180° verteilt) und der erreichte „QSO-Wirkungsgrad“ sind in [1] beschrieben.

Sofern sich kein kleines Erdnetz realisieren läßt, ist das Auslegen selbst nur eines einzigen (dicken) Radialdrahts (möglichst gleich oder länger als der Strahler) bei normalem Erdboden einem einfachen Tiefererder (Rohrerder) überlegen. Eine Benutzung von Hausinstallationen als HF-Gegengewicht sollte man aus BCI/TVI-Gründen jedoch vermeiden.

**Literatur**

- [1] Zander, H.-D., DJ2EV: Kleine Vertikalantenne für den gesamten KW-Bereich, FUNKAMATEUR 47 (1998), H. 5, S. 563
- [2] Alois Krischke, OE8AK, Rothammel, K.: Antennenbuch, 11. Auflage, Franckh Cosmos Verlags GmbH, Stuttgart 1995
- [3] The ARRL Antenna Book, 14th ed., Newington, USA, 1984
- [4] Devoldere, J., ON4UN: Low Band DXing, DARC Verlag GmbH, Baunatal 1991
- [5] Hock, A. u.a.: Antennentechnik, Reihe Kontakt und Studium, Expert Verlag, 1982 Grafenau
- [6] Janzen G.: Kurze Antennen, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1986
- [7] Meinke/Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, 3. Auflage, Springer-Verlag 1968

## SSTV aus der Umlaufbahn

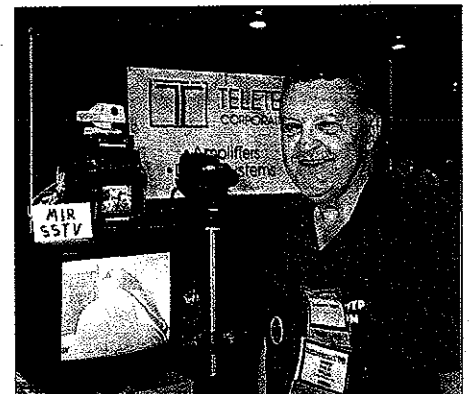
Auch für die SSTV-Freunde hatte das weltgrößte Afu-Treffen in Dayton dieses Jahr einiges zu bieten. Neben der bekannten SSTV-Technik verschiedener Hersteller propagierte die Mirex-Gruppe die endgültigen technischen Details und stellte insbesondere Technik für das Mir-Projekt vor.

Verwendet wird der TSC-70 (s. FA 6/97, S. 728 ff) von Tasco mit der Docking-Station (TFT-CCD-Monitor). Zur Bildaufnahme kommt eine Videokamera von Apple zum Einsatz, die wahlweise in eine Halterung am Fenster der Raumstation Mir oder in eine Halterung im Innenraum gesetzt werden kann. Ein „Auto-Controller“ steuert die automatische Aussendung der Bilder. Die SSTV-Ausrüstung arbeitet in Verbindung mit einem Kenwood TM-V7A (2 m/70 cm). Vorerst ist die periodische Aussendung von Livebildern im Modus 36 s Robot-Color geplant. Zusätzlich soll als CW-Kennung ROMIR ausgestrahlt werden.

Der an „Dienstjahren“ wohl älteste SSTV'er, Dr. Don Miller, W9NTP, sowie sein Freund Farrell Winder, W8ZCF, haben sich maßgeblich und zeitintensiv für das Mir-Projekt stark gemacht. Durch ihre enge Zusammenarbeit mit der Mirex-Gruppe ist das um-

fangreiche SSTV-Equipment zustande gekommen. W9NTP erläuterte am Ausstellungsstand die Technik (Bild) sowie deren Montage und den Transport.

Insgesamt wurden sechs komplette Anlagen vorbereitet, die man in der letzten Maiwoche nach Moskau verschicken wollte. Über die genauen Frequenzen konnte bis Redaktionsschluß noch nichts in Erfahrung gebracht werden. **tnx Info an DL1FH**



W9NTP bei der Demonstration und Erklärung des Mir-SSTV-Equipments: Links von oben nach unten: Videokamera, Auto-Controller, TM-V7A, Docking-Station. Unten ein nicht zur Ausrüstung gehörendes Fernsehgerät sowie rechts ein Camcorder; beide zu Demonstrationzwecken