

Durch die Selektionswirkung des integrierten Anpaßgerätes lassen die 6-Kanal-HF-Dipole HK 007 erheblich geringere gegenseitige Abstände zu als vergleichbare Breitbandantennen im Frequenzbereich 2 bis 30 MHz. Das Maß der räumlichen Abstandsverringering kann dabei durch den gewählten Frequenzabstand beeinflußt werden, was eine weitgehende Anpassung an die jeweiligen Geländegegebenheiten erlaubt.

Bessere Antennenentkopplung durch HF-Dipol HK 007

Die Integration des Anpaßgerätes in den Antennenspeisepunkt und die Optimierung von Transformation und Strahlerlänge ermöglichen beim 6-Kanal-Kurzwellen-Dipol HK 007 (2 bis 30 MHz) den Aufbau auf einem einzigen Tragmast (BILD 1) [1]. Für Empfangszwecke bietet Rohde & Schwarz mit den aktiven Antennen HE 002 bis 006 sowie mit den passiven HA 105 und HA 230 bereits seit längerer Zeit entsprechende Ausführungen an. Dagegen gab es zur Abstrahlung horizontal polarisierter Wellen für Senderleistungen bis 1 kW bisher ganz allgemein nur Dipole, die zwischen mindestens zwei Masten verspannt werden mußten. Die 1-Mast-Montage des HK 007 ist aber nicht der einzige Vorzug des HF-Dipols; darüber hinaus bietet er einen höheren Wirkungsgrad als vergleichbare Antennen und eine verbesserte Entkopplung benachbarter Dipole.

Vergleichsantenne

Die Lösung der Versorgungsaufgabe einer Funkstation hängt wesentlich von der abgestrahlten Leistung, das heißt bei gegebener Senderleistung vom Gewinn der verwendeten Antennen ab. Der Antennengewinn G setzt sich aus Richtfaktor D und Wirkungsgrad η zusammen: $G = D \cdot \eta$ [2]. Geht man von einer vorgegebenen Aufgabenstellung aus, so ist es sinnvoll, dem HF-Dipol HK 007 zum Vergleich eine Antenne mit etwa gleichem Strahlungsdiagramm, also praktisch gleichem Richtfaktor gegenüber zu stellen. Von den bisher verfügbaren Kurzwellendipolen kommen die unbedämpften Breitbandausführungen nicht in Frage, da sie an der unteren Frequenzgrenze – hier 2 MHz – bereits im Halbwellenmodus arbeiten müssen und entsprechend der Wellenlänge von 150 m eine Längsausdehnung benötigen, die schon fast eine Zehnerpotenz über der des HK 007 liegt.

Als breitbandige Vergleichsantenne wurde ein nach den bekannten Dimensionierungsregeln optimal bedämpfter HF-Dipol ausgewählt, da derartige Strahler in der Vergangenheit für die hier betrachteten Einsatzfälle vielfach verwendet wurden. Für eine Länge von 26 m erhält man bei 2 MHz einen Wirkungsgrad, der nur wenig unter dem des HK 007 liegt. Mit steigender Frequenz bleibt trotz der größeren Länge die Wirkungsgradzunahme bei der bedämpften Antenne beträchtlich hinter der des HK 007 zurück, wie die folgende Tabelle zeigt.

Frequenz	2 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	30 MHz
η_A/η_B	1,05	2,2	2,9	3,0	2,8	2,2

η_A Wirkungsgrad des verlustarm abgestimmten Dipols HK 007 (Länge 10 m), η_B Wirkungsgrad eines bedämpften Breitbanddipols von 26 m Länge.

Der gerade **im wichtigen Bereich der Steilstrahlfrequenzen außerordentlich günstige Wirkungsgrad des HK 007 im Vergleich zu wesentlich größeren bedämpften Dipolen** konnte durch Übertragungsmessungen auch experimentell bestätigt werden.

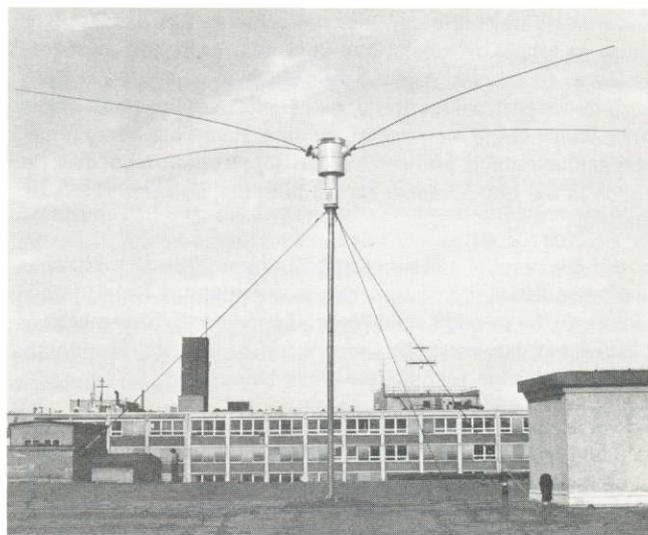


BILD 1 HF-Dipol HK 007 mit integriertem Anpaßgerät für sechs Frequenzen im Bereich 2 bis 30 MHz. Foto 25 365/1

Entkopplung benachbarter Dipole

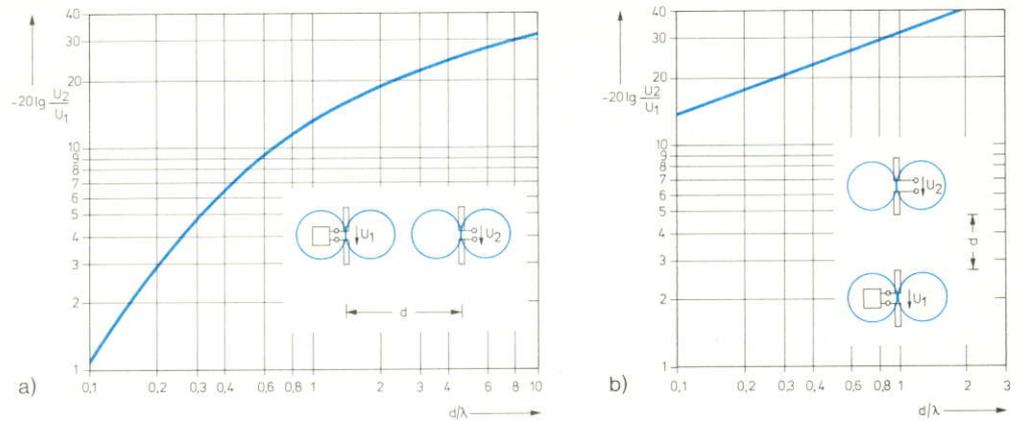
Die kurzen Strahler und der geringere Platzbedarf des HF-Dipols HK 007 bringen folgende wichtige Vorteile mit sich:

1. Einsatz unter extremen Platzbeschränkungen – beispielsweise auf Dächern – möglich.
2. Verwendbar in Funkstationen, in denen mehrere Antennen auf demselben Gelände angeordnet werden müssen.

Die Vorzüge des HK 007 für den erstgenannten Einsatz sind offensichtlich, im zweiten Fall stellt sich die Frage, ob durch die kleineren Abmessungen bei vorgegebener Anzahl der Strahler weniger Gelände für eine Funkstelle benötigt wird oder ob auf einem gegebenen Gelände bei Bedarf mehr Antennen untergebracht werden können. Entscheidend für die Beurteilung ist hier die Entkopplung benachbarter Dipole.

Parallel angeordnete Dipole in Abständen, die klein gegenüber der Betriebswellenlänge sind, weisen sehr geringe Ent-

BILD 2 Entkopplung zwischen Halbwellendipolen im freien Raum;
a) bei paralleler Anordnung,
b) bei kollinearer Anordnung der Dipole.



Kopplungen auf (BILD 2a); wesentlich höhere Werte ergeben sich im freien Raum für die kollineare Anordnung, da jetzt die Diagramm-Nullstellen beider Antennen aufeinander ausgerichtet sind (BILD 2b). Bei Halbwellendipolen werden für einen Abstand von $0,3\lambda$ zwischen den benachbarten Strahler-Endpunkten bereits 20 dB Entkopplung erreicht; mit mäßigen Abständen zwischen den Dipolen scheinen also Kopplungsprobleme vermeidbar zu sein.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Antennen im Kurzwellenbereich bei den hier betrachteten Einsatzfällen immer in relativ geringer Höhe über dem Erdboden angeordnet sind; oft müssen sogar – zum Beispiel im wichtigen Bereich der Steilstrahlübertragung – Bodenabstände weit unter einer Wellenlänge eingehalten werden, damit die benötigten Vertikaldiagramme erreicht werden [3]. Bezieht man den Erdboden in die Entkopplungsbetrachtung ein, so zeigt sich (BILD 3):

- a) Für die parallel angeordneten Strahler ergibt sich bei sehr kleinen Abständen praktisch keine Änderung. Bei Entfernungen im Bereich einer Wellenlänge und darüber macht sich eine Verbesserung durch Interferenz zwischen direkter und am Boden reflektierter Welle bemerkbar.
- b) Die hohen Entkopplungswerte kollinearere Dipole im freien Raum können sich dagegen beträchtlich verringern, denn über die Reflexion am Boden kann nun ein merklicher Teil der ausgestrahlten Energie auf die benachbarte Antenne gelangen. Da der Reflexionskoeffizient des Erdbodens von dessen Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante abhängt [4], können sich also je nach Standort und Wassergehalt des Bodens unterschiedliche Werte ergeben.

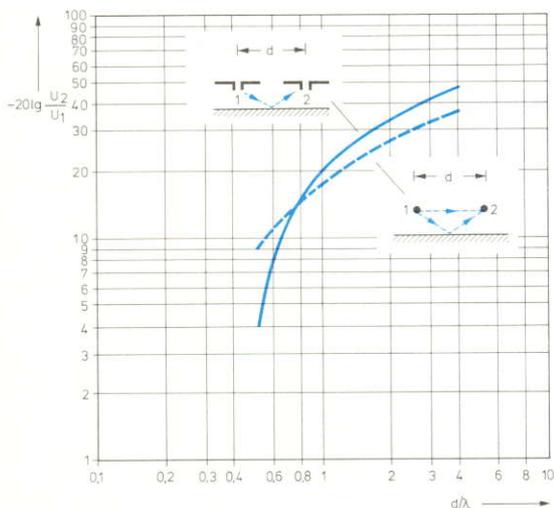


BILD 3 Entkopplung zwischen Halbwellendipolen über ideal leitender Ebene (Bodenabstand $\lambda/4$, Dipol 1 gespeist, Dipol 2 leerlaufend).

Die bekannten Verkopplungsprobleme bei Funkstellen mit kollinear angeordneten HF-Breitbanddipolen in geringem Abstand sind aus diesem Grund durchaus verständlich; wie Bild 3 zeigt, werden oft nur etwa die Entkopplungswerte erreicht, die parallele Dipole im vergleichbaren Abstand aufweisen.

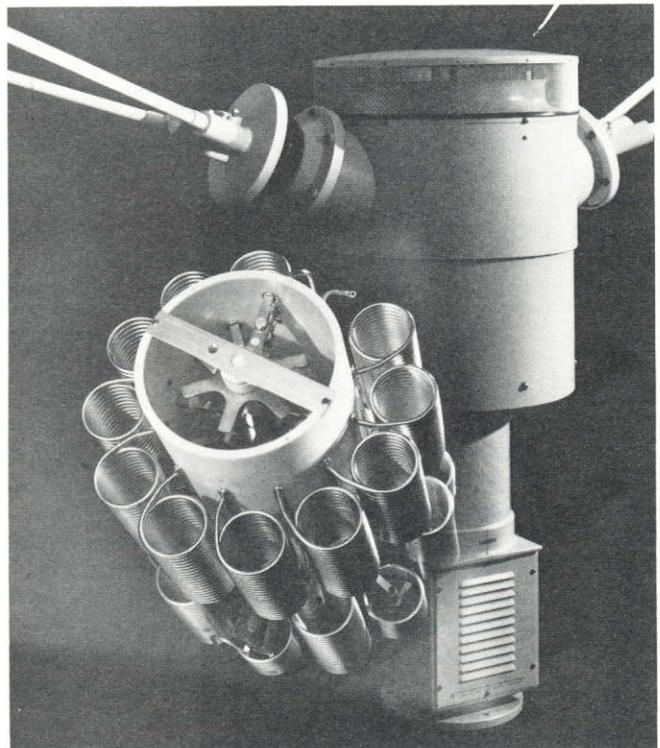


BILD 4 Spulengruppe des im Antennenkopf des HF-Dipols HK 007 untergebrachten Anpaßgerätes für 6 Kanäle im Frequenzbereich 2 bis 30 MHz. Foto 25 230

Verbesserte Entkopplung durch HK 007

Die durch Bodenreflexion zum Ort der benachbarten Antenne übertragene Welle ist beim Breitbanddipol ebenso wie beim abgestimmten Dipol HK 007 vorhanden. Die Breitbandantenne ist jedoch im allgemeinen auch für die Frequenz der störenden Feldstärke relativ gut angepaßt. Ein – den Anpassungsverhältnissen entsprechender – Teil der aufgenommenen Leistung wird dem angeschlossenen Sender zugeleitet und wirkt dort als scheinbare Rücklaufleistung, die sich ab einer bestimmten Größe störend bemerkbar macht, beispielsweise durch Auslösen einer Reflexionsabschaltung.

Beim HF-Dipol HK 007 ist das integrierte Anpaßgerät (BILD 4) auf die Betriebsfrequenz des angeschlossenen Senders eingestellt. Die frequenzabhängige Abstimmung mit verlustarmen Blindelementen hat ein ausgeprägtes Bandpaßverhalten zur Folge (BILD 5). Insbesondere bei tiefen Frequenzen, bei denen eine ausreichende Entkopplung für Breitbanddipole wegen der großen Wellenlängen große Abstände erfordert, ist die „Durchlaßkurve“ des Anpaßgerätes sehr schmal. Da der elektrisch kurze Dipol eine stark frequenzabhängige Impedanz aufweist, ist die Transformationsschaltung bereits bei kleinen Abweichungen von der Kanalmittenfrequenz stark verstimmt. Die Energien der Felder benachbarter Antennen, die ja zwangsläufig mit einem gewissen Frequenzversatz arbeiten müssen, werden nur abgeschwächt an den Sender weitergeleitet.

Geht man von den gleichen Eigenschaften des Senders wie bei der Breitbandantenne aus, **so kann der HF-Dipol HK 007 um einen „Annäherungsfaktor“ d_1/d_2 (BILD 6) näher an einer anderen Sendeantenne angeordnet werden**, bis das gleiche, gerade noch tolerierbare Maß eingekoppelter Leistung wie bei der Breitbandantenne erreicht ist. Da die Sperrwirkung des Bandpasses natürlich vom Abstand der störenden Frequenz von der eingestellten Kanalmittenfrequenz des HK 007 abhängt, ist auch der Annäherungsfaktor eine Funktion des Frequenzabstandes. Hier ergibt sich als besonderer Vorzug eine **individuelle Optimierungsmöglichkeit: Der Annäherungsfaktor kann in einem gewissen Bereich nach dem Frequenzversatz, der im jeweiligen Fall zwischen benachbarten Antennen akzeptabel ist, gewählt werden.** Durch die Vorprogrammierung des HK 007 auf sechs Kanäle ist im praktischen Betrieb hohe Sicherheit gegen ein unbeabsichtigtes Unterschreiten der festgelegten Frequenzabstände vorhanden, so daß hier keine zusätzlichen Reserven vorzusehen sind.

Die Abhängigkeit des Reflexionskoeffizienten von den elektrischen Bodenkonstanten wurde bereits erwähnt; darüber hinaus wirkt sich neben der Frequenz auch der Winkel, unter dem die Welle auf den Erdboden trifft (s. Bild 6), auf die Größe der störenden Feldstärke aus [4]. Während bei streifendem Einfall – also großem Abstand der betrachteten Antennen – eine fast verlustfreie Reflexion erfolgt, wird die horizontal polarisierte Welle mit zunehmendem Erhebungswinkel immer stärker durch den Boden gedämpft. Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Einfallswinkel erlaubt eine weitere Abstandsoptimierung benachbarter HK 007. Allerdings müssen bei sehr geringen Abständen zunehmend Nahfeldeffekte berücksichtigt werden; dies macht die rechnerische Behandlung aufwendiger und erschwert die Angabe allgemein gültiger Werte.

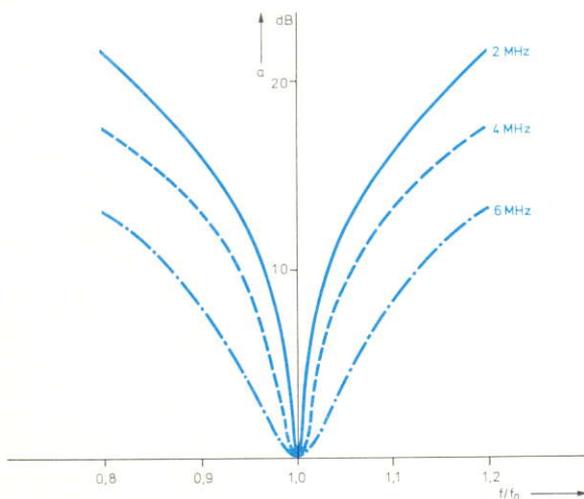
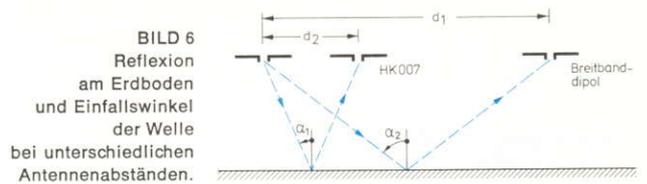


BILD 5 Dämpfung des integrierten HK 007-Anpaßgerätes bei Abweichung von der eingestellten Mittenfrequenz.



In der praktischen Anwendung können oft einige vereinfachende Randbedingungen akzeptiert werden. Dies führt dann zu einem Annäherungsfaktor, wie er in BILD 7 dargestellt ist. Zum Vergleich wurde der bereits beschriebene bedämpfte Breitbanddipol bei gleicher Strahlungsleistung, das heißt gleicher Übertragungssicherheit der jeweiligen Nutzaussendung, herangezogen.

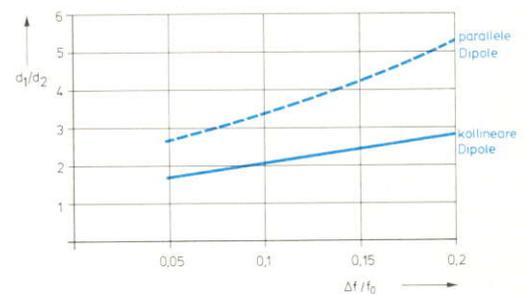


BILD 7 Faktor der zulässigen Abstandsverringering beim HF-Dipol HK 007 gegenüber einem bedämpften Breitbanddipol in Abhängigkeit vom relativen Frequenzabstand (für 2 MHz).

Bei Anlagen für Sende- und Empfangsbetrieb an mehreren Antennen läßt sich die Selektionswirkung in analoger Form nutzen: Ein momentan auf Empfang stehender HK 007, der auf eine Übertragungsfrequenz abgestimmt ist, schützt den angeschlossenen Empfänger gegen Aussendungen benachbarter Antennen, so daß auch hier **mit dem HF-Dipol HK 007 kleinere räumliche oder frequenzmäßige Abstände als bei Breitbandantennen** möglich sind.

Axel Stark

LITERATUR

- [1] Stark, A.: Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Kurzwellen-Antennen. Neues von Rohde & Schwarz (1978) Nr. 81, S. 19–21.
- [2] NTG 1301 Entwurf 1969. Begriffe aus dem Gebiet der Antennen, elektrische Eigenschaften. VDE-Verlag Berlin.
- [3] Stark, A.: Aktive HF-Rundempfangsantennen HE 004 und HE 005 für horizontale Polarisation. Neues von Rohde & Schwarz (1977) Nr. 78, S. 7–9.
- [4] Stark, A.: Einfluß des Erdbodens auf Vertikaldiagramme und Gewinn horizontaler logarithmisch-periodischer HF-Antennen. Neues von Rohde & Schwarz (1976) Nr. 75, S. 15–19.

KURZDATEN HF-DIPOL HK 007

Frequenzbereich	2 . . . 30 MHz (6 Kanäle)
Zulässige Senderleistung P_{eff} und PEP	1 kW
Anschluß	Klemmanschluß
Gewinn	abhängig vom Bodenabstand
Gewicht	74 kg (mit Anpaßgerät)
Zulässige Windgeschwindigkeit	200 km/h
Polarisation	horizontal
Impedanz/Welligkeit (VSWR)	50 Ω / ≤ 2 (im Kanal)

NÄHERES LESERDIENST KENNZIFFER 85/5