

Derartige Fehler lassen sich ohne spezielle Meßtechnik nur schwer finden. Die bei der Deutschen Post im Rahmen der Betriebsabnahme übliche Versorgungsanalyse unter Verwendung teilnehmergerechter Qualitätsmaßstäbe ist nicht zur Beurteilung der Strahlungseigenschaften von UKW/FS-Sendeantennen geeignet. Strahlungsmessungen mittels Hubschrauber sind recht aufwendig und können auch nicht an jedem Standort durchgeführt werden. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, zur Überprüfung der Antennenanlage die Einspeisung nach Betrag und Phase an den Feldern direkt zu messen und die gemessenen mit den Sollwerten zu vergleichen.

Von der Fa. Rohde & Schwarz wurden die Speisephasen ihrer Bd.-IV/V-Antennen schon in den 60er Jahren mittels kapazitiver Sonden gemessen, die in die antennenseitigen Winkelstecker der zu den Feldern führenden Ebenenkabel eingeführt wurden. Die Sonde wurde nacheinander in die einzelnen Stecker an den Feldern eingesetzt und die Phase der ausgekoppelten Spannung mittels Z-g-Diagraph ZDD gemessen, wobei die Antenne durch einen Meßsender SDR gespeist wurde [30].

Von der Deutschen Bundespost wurden an einem Bezugsfeld sowie nacheinander an den übrigen Feldern je ein Reflektometer zur Auskoppelung der Meßspannungen angeordnet. Die Antenne wurde durch einen Meßsender gespeist. Der Reihe nach werden die Phasen und Amplituden der ausgekoppelten Vorlaufsspannungen gemessen, und zwar bezogen auf die Spannung am Bezugsfeld. Die Abweichungen von den Sollphasen sollen dabei  $\pm 15^\circ$  und von den Sollamplituden  $\pm 1$  dB nicht überschreiten.

Nach einem Verfahren der Technischen Hochschule Wroclaw werden bei Bd.-II/III-Antennen die Ströme auf den einzelnen Dipolen des Feldes mittels einer induktiven Meßschleife gemessen [31, 32]. Die Einspeisung bei den Bd.-IV/V-Antennen der polnischen Fa. Zaras wird mittels einer induktiven Sonde gemessen, die unmittelbarer Bestandteil der einzelnen Felder ist.

Es ist bekannt, daß in der ČSSR die Speisephasen und -amplituden bei Bd.-IV/V-Antennen mittels kleiner Meßdipole gemessen werden, die nacheinander vor den einzelnen Feldern angeordnet werden.

Allen Verfahren ist gemeinsam, daß aus jedem Antennenfeld eine Meßspannung ausgekoppelt wird, die mit einer konstanten Bezugsspannung verglichen wird. Die Meßspannungen können auf unterschiedliche Weise gewonnen werden:

- mittels an den Feldern angeordneten kapazitiven oder induktiven Sonden,
- mittels Richtkopplern, die einen Teil der zu den Feldern hinlaufenden Welle auskoppeln,
- mittels Meßdipolen, die unmittelbar vor den Antennenfeldern angeordnet sind,
- mittels Meßschleifen an jedem Dipol, die den Dipolströmen proportionale Meßspannungen liefern.

### 3.2. Messung mittels kapazitiver bzw. induktiver Sonden

Werden die Einspeisungen mit Hilfe von kapazitiven oder induktiven Sonden gemessen, die unmittelbar am Eingang der einzelnen Felder angeordnet sind, dann gelten folgende Feststellungen:

- Die Speisephasen werden grundsätzlich richtig gemessen, wenn man von gerätebedingten Meßfehlern absieht.
- Die Amplitudenverhältnisse werden grundsätzlich falsch gemessen. Der Fehler ist um so größer, je größer die Fehlanpassung der Antennenfelder und je unterschiedlicher ihre Eingangswiderstände sind. Werden nur 2 Antennenfelder betrachtet, deren komplexe Eingangswiderstände unterschiedlich sind bei einer maximalen Welligkeit von  $s = 1,3$ , dann ergeben theoretische Überlegungen im ungünstigsten Fall einen max. Meßfehler bei der Amplitudenmessung von 0,7 dB. Voraussetzung: Gleiche Koppeldämpfung der Meßsonden.
- Die Verkopplung zwischen den einzelnen Feldern ändert zwar die Amplituden- und Phasenverteilung in der Antenne, hat aber keinen Einfluß auf die Meßfehler bei der Amplituden- und Phasenmessung.

### 3.3. Messung mittels Richtkopplersonden

Anstelle kapazitiver oder induktiver Sonden werden jetzt Richtkopplersonden betrachtet, die unmittelbar am Eingang der Antennenfelder Spannungen auskoppeln, die proportional der zu den Feldern hinlaufenden Wellen sind.

Die Eigenschaften dieser Meßanordnung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Amplitudenverhältnisse werden bis auf geringe Fehler, die praktisch bedeutungslos sind, richtig gemessen.

Voraussetzung: Gleiche Koppeldämpfung der Richtkoppler.

- Bei der Phasenmessung ist der mögliche Fehler um so größer, je größer die Fehlanpassung der Antennenfelder ist, je unterschiedlicher ihre komplexen Eingangswiderstände sind und je größer die gegenseitige Verkopplung ist. Bei nur zwei Antennenfeldern mit unterschiedlichen Eingangswiderständen (max. Welligkeit  $s = 1,3$ ) und gegenseitiger Verkopplung (Kopplungsfaktor  $k = 0,05 \pm -26$  dB) ergibt sich z. B. im ungünstigsten Fall ein max. Phasenfehler von  $\pm 11^\circ$ .

### 3.4. Messung mittels Meßdipolen vor den Antennenfeldern

An einer Bd.-IV/V-Sendeantenne des in [1] beschriebenen Typs wurde die Amplituden- und Phasenverteilung mittels einer Meßsonde gemessen, der nacheinander unmittelbar vor den Antennenfeldern in definierter Lage angeordnet wurde. Die Meßsonde bestand aus zwei in geringem Abstand befindlichen, extrem kurzen Faltdipolen, die so gespeist wurden, daß sich eine Rückdämpfung von  $\geq 20$  dB ergab.

Die Meßwerte streuten sehr stark und ließen keine sinnvolle Aussage über den Zustand der Antenne zu. Darüber hinaus waren insbesondere die Amplitudenwerte nicht reproduzierbar.

### 3.5. Messung der Dipolströme

Bei diesem in der VR Polen entwickelten Verfahren wird eine geschirmte Meßschleife nacheinander im Spannungsknoten auf jedem Dipol befestigt [31, 32]. Die in die Schleife induzierte Spannung, die proportional dem Strom auf der jeweiligen Dipolhälfte ist, wird nach Betrag und Phase gemessen. Die gesuchte Einspeisung des Feldes ergibt sich durch geometrische Addition aller Meßwerte eines Feldes.

Nach diesem Verfahren durchgeführte Messungen an Bd.-II- und Bd.-III-Antennen der Deutschen Post zeigten eine relativ große Streuung der Meßwerte, insbesondere der Amplituden. Messungen im Labor zeigten zum Teil erhebliche Abweichungen von den mit kapazitiven Sonden bzw. Richtkopplern gewonnenen Meßwerten. Das Verfahren ist daher zur Messung der Einspeisung nach Betrag und Phase nicht geeignet. Hinzu kommt, daß die Meßschleifen an Bd.-IV/V-Feldern, die mit Kunststoffhauben abgedeckt sind, nicht angebracht werden können, so daß eine solche Messung dann nicht möglich ist.

### 3.6. Vergleich der einzelnen Meßverfahren

- Phasenmessungen erfordern kapazitive oder induktive Sonden,
- Amplitudenmessungen erfordern Richtkopplersonden gleicher Koppeldämpfung,
- Die Sonden sollten in das Antennenelement integriert sein („Antennenfeld mit Meßsonde“).

Alle Antennenfelder einer Antenne (Bd. II, Bd. III, Bd. IV/V, Felder für Umsetzeranlagen) sollten mindestens mit kapazitiven oder induktiven Sonden gleicher Koppeldämpfung ausgerüstet sein.

Nach Möglichkeit sollten die Felder zusätzlich Richtkopplersonden gleicher Koppeldämpfung enthalten. Dadurch würden sich folgende Vorteile ergeben:

- Die von den einzelnen Feldern abgestrahlte Leistung kann mit Hilfe einfacher Meßinstrumente (z. B. Instrument + Diodengleichrichter) während des Betriebes kontrolliert werden. Damit ergibt sich eine einfache Möglichkeit, die Funktionsfähigkeit der Antennenanlage im Rahmen turnusmäßiger Wartungsarbeiten zu überprüfen.
- Die Funktionsfähigkeit einer UKW-FS-Sendeantennenanlage kann während des laufenden Betriebes kontinuierlich überwacht werden. Die einzelnen Kontrollspannungen können so miteinander verknüpft werden, daß eine Störungsmeldung ausgelöst und der Sender ggf. automatisch abgeschaltet wird, wenn einzelne Kontrollspannungen außerhalb der Toleranz liegen.

Von Bedeutung ist diese Möglichkeit bei unbemannten Anlagen, da die Messung der Fehlanpassung der Antennenanlage am Senderausgang nicht ausreicht, um Antennenfehler zuverlässig zu erkennen.

## 4. Messung der Strahlungsdiagramme mittels Vergleichsantenne

### 4.1. Allgemeines

Aus der Literatur ist ein Verfahren bekannt, die Strahlungsdiagramme von UKW- und FS-Sendeantennen mittels einer bekannten Vergleichsantenne zu messen [28, 29, 30, 33, 34].

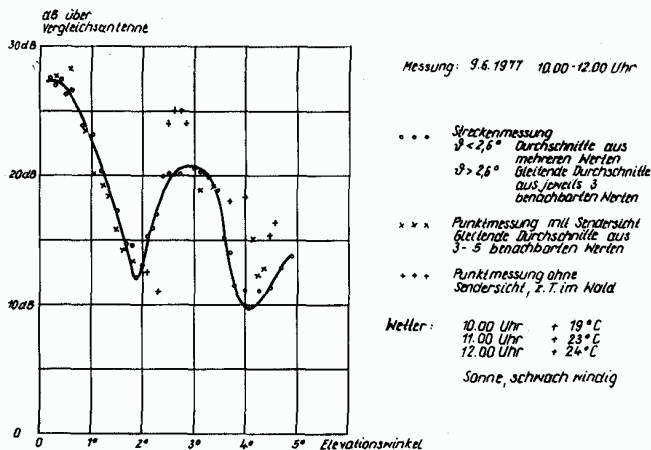


Abb. 4 Mittels Vergleichsantenne gemessenes Vertikaldiagramm der FS-Sendeantenne Dresden K 29, Azimut 133° r. w. N.

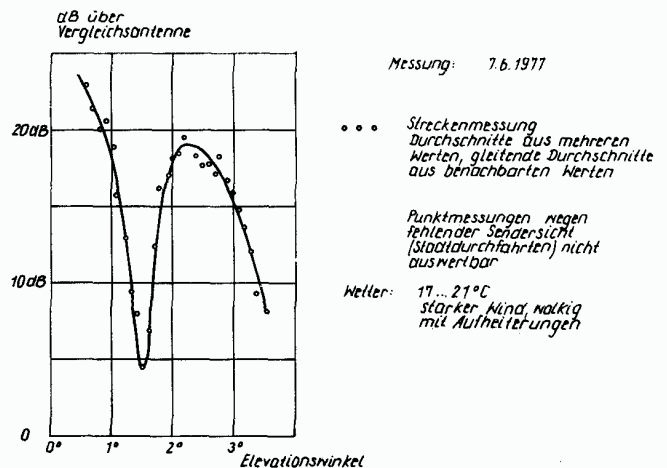


Abb. 5 Mittels Vergleichsantenne gemessenes Vertikaldiagramm der FS-Sendeantenne Dresden K 29, Azimut 298° r. w. N.

Eine Antenne mit bekannten Strahlungseigenschaften wird in unmittelbarer Nähe der zu prüfenden Antenne angebracht und mit möglichst gleicher Frequenz gespeist. Aus dem Vergleich der durch beide Antennen hervorgerufenen Feldstärken lassen sich die Strahlungsdiagramme der zu prüfenden Antenne ermitteln. Durch dieses Verfahren soll der geländebedingte Einfluß auf die Empfangsfeldstärke eliminiert werden. Bekannt sind Messungen an Band-IV/V-Sendeantennenanlagen mittels Vergleichsantennen aus der BRD, der ČSSR und der VR Polen.

In der BRD wurden in den 60er Jahren entsprechende Messungen von der Bundespost [28, 29, 33] sowie von der Fa. Rohde & Schwarz [34] durchgeführt. Die Ergebnisse sollen entsprechend den Veröffentlichungen sehr genau sein. Das Meßverfahren mit Vergleichsantenne wurde jedoch später durch Hubschraubermessungen ersetzt. Mit Hubschrauber sind inzwischen die Strahlungseigenschaften aller Band-IV/V-Sender der DBP und der ARD gemessen worden. Offensichtlich wird auch jede neu hinzukommende oder rekonstruierte Band-IV/V-Sendeantenne entsprechend vermessen. Unter den spezifischen Bedingungen der BRD sind Messungen mit Hubschrauber vorteilhafter als Messungen im Gelände.

In der VR Polen hat sich das Institut für Nachrichtentechnik und Akustik der Technischen Hochschule Wrocław mit der Messung der Strahlungseigenschaften von bereits in Betrieb befindlichen Band-IV/V-Sendeantennenanlagen befaßt. Die erreichten Ergebnisse sind schlechter als die mit anderen Methoden gemessenen Diagramme.

#### 4.2. Erprobung des Meßverfahrens

1977 wurden entsprechende Messungen mit Vergleichsstrahler an der Band-IV/V-Antenne des Fernsehsenders Dresden im Kanal 29 durchgeführt. Als Vergleichsantenne diente ein Band-IV-Achterfeld mit bekannten Strahlungseigenschaften, das etwa 10 m unterhalb des Schwerpunktes der zu messenden Sendeantenne angebracht war. Die Vergleichsantenne wurde mit einer Leistung von etwa 100 W bei einer Frequenz dicht oberhalb der Tonsenderfrequenz K 29 gespeist. Gemessen wurde in drei Richtungen radial zum Sender. Verglichen wurden die Empfangsfeldstärken des Tonsenders mit denen der Vergleichsantenne. Zwei unterschiedliche Meßverfahren wurden angewendet:

- Punktweise Messung der Feldstärkedifferenzen mit Feldstärkezeiger HUZÉ (R & S) und log-per. Meßantenne 50 cm über dem Erdboden
- Gleichzeitige, kontinuierliche Registrierung der beiden Feldstärken mit zwei Feldstärkemessern SMV 8 und zugehörigen Schreibern in einem Meßfahrzeug. Meßantenne: gestockter Kreuzdipol 0,7 m über dem Dach des Fahrzeuges bzw. 3,2 m über Terrain.

In Abb. 4 und 5 sind die Richtung 133° und 298° (rechtsweisend gegen Nord) gemessenen Vertikaldiagramme dargestellt. Die Kurvenverläufe sind an Hand der Ergebnisse der Streckenmessungen gezeichnet (ooo). In Abb. 6 sind zum Vergleich die aus den Punktmessungen gewonnenen Ergebnisse eingezeichnet (xxx bzw. +++). Die dargestellten Strahlungsdiagramme sind absolute Diagramme, die die effektive Strahlungsleistung (ERP) als Funktion des Elevationswinkels angeben. Dies jedoch nur unter der Voraussetzung, daß die Strahlungsleistung des Vergleichsstrahlers genau bekannt ist. Im vorliegenden Fall war dies nicht der

Fall. Da aber beide Diagramme Abb. 4 und 5 auf der gleichen Bezugsleistung beruhen, sind sie unmittelbar vergleichbar (vgl. Abb. 6). In Richtung des 1. Minimums Azimut 298° werden z. B. 12 - 4,5 dB = 7,5 dB weniger Leistung abgestrahlt als beim Azimut 133°. Am Vergleich der beiden Diagramme erkennt man auch hier deutlich die Schiefstellung der Band-IV/V-Antenne (vgl. Abschn. 2).

Es zeigt sich, daß Streckenmessungen mit kontinuierlicher Registrierung der Meßwerte auch bei fehlender Sendersicht gute Ergebnisse liefern. Durch die Medianbildung über Strecken von 200 m und eine dreigliedrige Ausgleichung mittels gleitender Durchschnitte werden Zufallsschwankungen beseitigt, und die wirkliche Form des Vertikaldiagramms tritt augenfällig hervor [11]. Durch die große Zahl von Meßwerten ist die Genauigkeit bei kleinen Elevationswinkeln größer als bei großen Winkeln. Daher sollten die Medianwerte für Elevationswinkel > 3° über kürzere Strecken als 200 m gebildet werden, um auch dort eine größere Zahl von Meßwerten zu erhalten.

Recht aufwendig bei Streckenmessungen ist die Zuordnung der registrierten Werte zu den Ortskoordinaten (Entfernung zum Sender und Höhe über NN zur Ermittlung der Elevationswinkel). Außerdem ist es nicht immer möglich, Straßen zu finden, die innerhalb einer Toleranz von etwa  $\pm 3^\circ$  radial zum Senderstandort verlaufen und vom Meßfahrzeug befahrbar sind.

Die Punktmessungen ergeben gute Übereinstimmung mit Streckenmessungen nur bei Sendersicht und freiem Vorfeld zum Meßort. Bei fehlender Sicht im Stadtgebiet oder in Wäldern ergeben sich keine auswertbaren Ergebnisse. Von großem Vorteil ist jedoch, daß man bei Verwendung eines transportablen batteriegespeisten Feldstärkemessers nahezu frei beweglich und damit nicht an vorhandene Straßenverläufe gebunden ist.

#### 4.3. Verbessertes Meßverfahren

Die Erfahrungen der Streckenmessungen mit Meßwagen haben gezeigt, daß für zuverlässige Diagrammmessungen mit Vergleichsantenne außerordentlich viele Meßwerte benötigt werden, die in geeigneter Weise statistisch aufbereitet werden müssen. Soll das praktikablere Punktmeßverfahren verwendet werden, dann sind je Meßpunkt so viele Werte zu messen, daß sich durch geeignete Mittelung eine ausreichende Glättung der Strahlungsverläufe ergibt.

In diesem Zusammenhang ist die Frage von Bedeutung, welche Aussagen Meßverfahren mit Vergleichsstrahler überhaupt liefern können. Für den Rundfunkbetrieb interessieren nicht die nur unter idealen Freiraumbedingungen vorhandenen Strahlungseigenschaften, sondern die durch Einsatz einer höher bündelnden Sendeantenne im Versorgungsgebiet tatsächlich auftretenden Erhöhungen der Empfangsfeldstärke.

In [40] wird dieser für die Versorgung allein interessierende Gewinn als sogenannter Betriebsgewinn bezeichnet. Er beschreibt den Zuwachs an Empfangsenergie an einem beliebigen Empfangsort durch Anwendung einer höher bündelnden Sendeantenne gegenüber z. B. einem Halbwellendipol. Ein Halbwellendipol ist jedoch für Meßzwecke ungeeignet, da der Antennenträger seine Strahlungseigenschaften verfälscht. Es

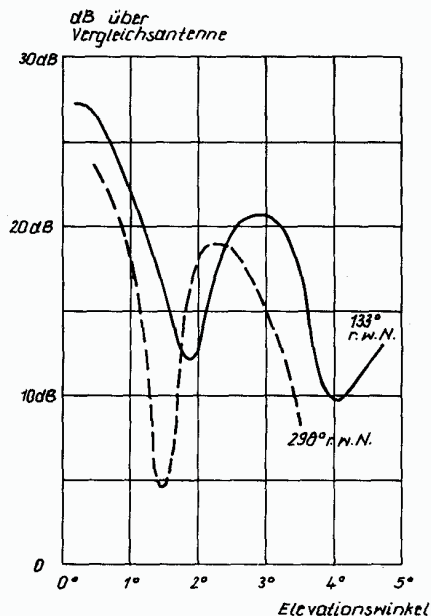


Abb. 6 Vergleich der Diagramme aus Abb. 4 und 5

muß daher eine schwach bündelnde Vergleichsantenne mit geringer Rückwärtsstrahlung und bekanntem Gewinn verwendet werden. Vom IRT Hamburg wurde festgestellt, daß der Betriebsgewinn eine statistische Ortsstreuung aufweist, die logarithmisch normalverteilt ist [40]. Der Medianwert des Betriebsgewinns streut mit  $\pm 1$  dB um den Freiraumgewinn, bei sehr rauhem Gelände (z. B. Moseltal) mit  $\pm 2$  dB. Bei Bergantennen mit zu niedriger Höhe des Antennenschwerpunktes ist der Betriebsgewinn noch niedriger als 2 dB gegenüber dem Freiraumgewinn.

Die Messung mittels Vergleichsstrahler liefert daher die Strahlungseigenschaften der Sendeantennenanlage unter Berücksichtigung der orographischen Besonderheiten des Versorgungsgebietes. Im Gegensatz dazu wird bei Hubschraubermessungen das Freiraumdiagramm gemessen.

1980 wurden punktweise Messungen mittels Vergleichsantenne an einer Sendeantennenanlage K 29 in der ČSSR durchgeführt. Das Versorgungsgebiet dieses Senders ist zum großen Teil sehr bergig und zerklüftet. Es existieren umfangreiche Wälder, in denen reproduzierbare Messungen nicht möglich waren, da die Feldstärken dort zeitlich sehr stark schwankten.

Gemessen wurde in zwei Azimutrichtungen. In diesen Richtungen ergaben sich trotz der schwierigen Geländebedingungen brauchbare Meßpunkte. Die Meßpunkte wurden an Hand von Karten 1:100000 sowie von Meßtischblättern 1:40000 und 1:25000 festgelegt. Die Meßpunkte wurden so ausgesucht, daß der Abstand der zugehörigen Elevationswinkel das Zeichnen des Diagramms ermöglichte. Weitere Voraussetzungen waren freie Sendersicht und nach Möglichkeit freies ebenes Vorgelände vor der Meßantenne. Besonders wertvoll beim Festlegen und Aufsuchen der Meßpunkte war die Mitarbeit von zwei ortskundigen Kollegen der Betriebsstelle.

Gemessen wurde die Feldstärkedifferenz zwischen den Feldstärken von Tonsender und Vergleichsstrahler. Je nach der Streuung der Meßwerte wurden je Elevationswinkel 6 ... 20 Werte gemessen und der Medianwert ermittelt. War die Streuung zu groß und ergab sich kein stabiler Medianwert, dann war der Meßpunkt unbrauchbar. Einige Meßwerte konnten wegen starker Reflexionsstörungen nicht verwendet werden. Diese waren daran zu erkennen, daß die Einfallsrichtungen beider Signale unterschiedlich waren und nicht mit der Richtung zum Senderstandort übereinstimmten.

Die einzelnen Meßpunkte je Elevationswinkel lagen je nach örtlichen Gegebenheiten nur wenige Meter oder aber auch einige 100 m auseinander. Wichtig war, daß der Elevationswinkel mit einer Toleranz von weniger als etwa  $\pm 0,05^\circ$  und der Azimut mit etwa  $\pm 2,5^\circ$  eingehalten wurde.

Die Auswertung der Meßwerte, d. h. die Medianwertbildung, die Bestimmung der zugehörigen Elevationswinkel und das Zeichnen des

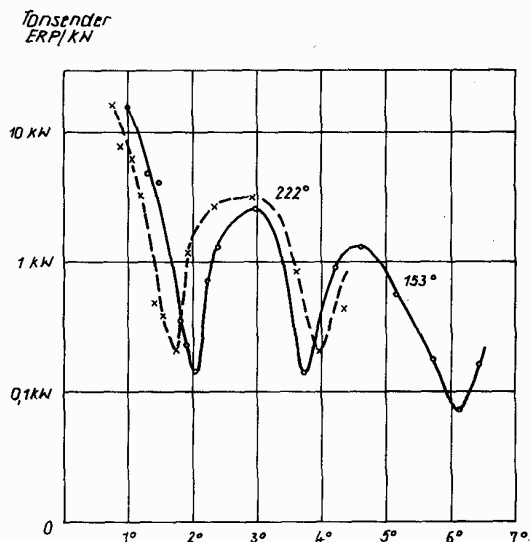


Abb. 7 Vertikaldiagramme ČSSR K 29, Azimut 153° und 222° r. w. N.

Richtdiagramms erfolgte noch am Meßort. Nur so ließ sich feststellen, ob die Meßwerte zum Zeichnen des Diagramms ausreichen und ob ggf. weitere Meßpunkte gezielt hätten festgelegt werden müssen.

Abb. 7 zeigt die so gemessenen Vertikaldiagramme. Aufgetragen ist die effektive Strahlungsleistung des Tonsenders (Senderausgangsleistung 2 kW). Die gleichen Diagramme gelten praktisch auch für die Bildsenderfrequenz. In diesem Fall sind die angegebenen Strahlungsleistungen mit dem Faktor 10 zu multiplizieren.

1° bei 153° Azimut und 0,78° bei 222° waren die kleinsten möglichen Elevationswinkel. Die unter kleinerem Winkel abgestrahlte Leistung wurden im allgemeinen so gewählt, daß sich ein eindeutiges Diagramm ergab. Infolge ungünstiger Geländebedingungen (dichter, unzugänglicher Wald oder zerklüftetes Gelände) konnten einige für den Diagrammverlauf wichtige Meßpunkte nicht genutzt werden. Dennoch sind insbesondere Lage und Tiefe der Minima sehr sorgfältig bestimmt worden.

#### 4.4. Schlußfolgerungen zu Abschnitt 4

Das Meßverfahren mit Vergleichsantenne ist geeignet zur Messung der Strahlungseigenschaften von UKW/FM-Sendeantennen. Die Messung des Vertikaldiagramms sollte in den Maxima des Horizontaldiagramms, d. h. in Spaltenrichtung der Antenne, erfolgen. Eine Messung des Horizontaldiagramms kann nur im vertikalen Maximum erfolgen. Das Diagramm muß also so weit abgesenkt werden, daß das Maximum überall mindestens den Rand des Versorgungsgebietes erreicht.

Messungen im dichten Wald sind mit normalen Feldstärkemessern nicht möglich. Um auswertbare Ergebnisse zu erhalten, müßte über eine Zeit von einigen Minuten integriert werden.

Etwas problematisch ist die Ermittlung des Elevationswinkels aus Entfernung und Höhendifferenz. Während die Entfernung des Meßpunktes zum Sender aus Meßtischblättern relativ genau bestimmt werden kann, kann die Höhe über NN, insbesondere in sehr hügeligem Gelände, oft nicht genau ermittelt werden. Bei geringen Entfernungen zum Sender, d. h. bei relativ großen Elevationswinkeln, ergeben sich dann schon beträchtliche Winkelfehler. Die Messung sollte daher nur bis zu einem Elevationswinkel von etwa 5° erfolgen. Dies entspricht etwa der Lage des 2. Minimums bei Band-IV/V-Sendeantennen mit  $G = 50$ .

Eine Verbesserung der Höhenbestimmung könnte durch einen transportablen barometrischen Feinhöhenmesser erreicht werden, der an markanten Punkten (trigonometrische Punkte, Straßenkreuzungen, Kirchen usw.) nach der Höhenangabe im Meßtischblatt geeicht werden könnte.

Es hat sich als sehr vorteilhaft erwiesen, für die einzelnen Meßrichtungen winkelgetreue Geländeschnitte anzufertigen. Darüber hinaus sollte an den Messungen mindestens ein ortskundiger Kollege, z. B. vom zuständigen Funkentstörungsdienst, teilnehmen.



## 5. Schlußbemerkungen

UKW- und FS-Sendeantennenanlagen weisen nur dann die vorgesehenen Strahlungseigenschaften auf, wenn die Speisephase und -amplituden der einzelnen Strahlerelemente innerhalb bestimmter Toleranzen liegen, die je nach Antenne unterschiedlich sind. Eine Kontrolle der Einspeisung der Strahlerelemente sowie der Strahlungseigenschaften derartiger Antennen im Rahmen der Inbetriebnahme ist insbesondere bei Fernseh-Sendeantennen im Band IV/V notwendig. Diese Notwendigkeit ergibt sich u. a. daraus, daß die Antennen meist nach dem Baukastensystem aus standardisierten Bauteilen aufgebaut sind, damit sie optimal an die Belange des Versorgungsgebietes angepaßt werden können. Eine Montage der vollständigen im Werk eingemessenen Antenne ohne dazwischenliegende Demontage ist nicht immer möglich, so daß durch entsprechende Meßverfahren auch Montagefehler zuverlässig ausgeschlossen werden müssen.

## Literatur

- [1] Plättner, W.: VHF- und UHF-Sendeantennen für den Fernseh- und UKW-Turm der Deutschen Post Berlin. Fernmeldetechnik 10 (1970) 5, S. 129-134, 6, S. 173-182.
- [2] Röder, S.: Antennenträger aus glasfaserverstärktem Kunststoff am Kopf des Dresdener Fernsehturms. Die Technik 22 (1967) 12, 786-787.
- [3] Laub, H.: Dipolgruppen für Sendantennen in den Fernsehbereichen IV/V. Frequenz 14 (1960) 10, S. 327-334.
- [4] Henß, P.: Sendantennen für die Fernsehbereiche IV/V bei der DP. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen Nr. 15/1969, S. 3-12.
- [5] Bruger, P.; Zander, H.: Breitbandige Fernseh-Sendeantenne mit Rundstrahlcharakteristik für den UHF-Bereich. Nachrichtentechn. Fachberichte 45 (1972), S. 220-224.
- [6] Gschwendtner, J.: Technik moderner UHF-Sendeantennen. Funkschau 16 (1982), S. 68-71.
- [7] Huber, F. R.; Thomanek, L.: Rundstrahlantennen mit Phasenspeisung. Rohde & Schwarz-Mitteilungen 9 (1957), S. 86-95.
- [8] Huber, F. R.; Thomanek, L.: Neuere Untersuchungen über die Anwendung der Phasenkompensation. Rohde & Schwarz-Mitteilungen 10 (1958), S. 136-145.
- [9] Bruger, P.: Entwurf von Fernseh-Sendeantennen unter Berücksichtigung von Störeinflüssen. NTZ 21 (1968) 9, S. 528-532.
- [10] Kaden, G. H.: 3-dB-Richtungskoppler als Leistungsverteiler für Sendantennen im Fernsehbereich IV/V. Frequenz 20 (1966) 11, S. 360-364.
- [11] Lohse, H.; Ludwig, R.: Statistik für Forschung und Beruf. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1973.
- [12] Idselis, M.: Numerische Methode zur Synthese von Strahlungsdiagrammen. Nachrichtentechnische Fachberichte 45 (1972), S. 24-28.
- [13] Staiger, F.: Auslenkung von Antennenträgern in Stahlbetonausführung durch Sonnenbestrahlung. Rundfunktechn. Mitt. 10 (1966) 2, S. 75-79.
- [14] Pelzer, H.: Bewegungen hoher Türme. Vermess.-techn. Rdsch., Bonn 36 (1974) 9-10, S. 345-354.
- [15] Sprenger, G.: Vermessungsarbeiten am Fernsehturm Dresden. Vermessungstechnik 14 (1966) 9, S. 349-353.
- [16] Werner, H.; Möbius, G.: Beitrag zur Auswertung und Interpretation von Bauwerksüberwachungsmessungen. Vermessungstechnik 24 (1976) 8, S. 302-305.
- [17] Eilfort, H.: Bewegungsmessungen am Stuttgarter Fernsehturm. Z. Vermessungswesen 82 (1957) 8, S. 258-263.
- [18] Becker, H.-J.: Bewegungsmessungen am Fernsehturm Dresden. Diplomarbeit, TU Dresden, 1968.
- [19] Langer, W.: Querschwingungen hoher, schlanker Bauwerke mit kreisförmigem Querschnitt. IfL-Mitt. 8 (1969) 5, S. 184-197.
- [20] Langer, W.: Warum Tilgpendel auf dem Fernsehturm. Die Technik 22 (1967) 12, S. 787-788.
- [21] Schmidt, P.: Schwingungsmessungen am Fernseh- und UKW-Turm Berlin. Diplomarbeit, TU Dresden, 1976.
- [22] Kischkel, R.: Sicherungsmessungen am Aussichts- und Fernmeldeturm Dortmund. Allg. Vermess.-Nachr. 74 (1967) 5, S. 178-188.
- [23] Wittmann, F.; Hillebrand, H.: Vergleichende Schwingungsmessungen am Münchener Fernsehturm. Der Bauingenieur 48 (1973) 9, S. 343-346.
- [24] Šimáček, F.: Auslenkungswinkel bei TV-Türmen. Proceedings of the Conference on Tower-Shaped Structures, Den Haag 24.-26. 4. 1969.
- [25] Staiger, F.: Windmessungen an Antennenträgern. Rundfunktechn. Mitt. 9 (1965) 4, S. 216-221.
- [26] Lenk, H.: Über die Windschwingungen des Stuttgarter Fernsehturms. Die Bau-technik 43 (1966) 5, S. 145-148, 7, S. 248-252, 8, S. 278-283.
- [27] Borges, A. R. J.; Ravara, A.: Investigation of the aerodynamic instability of towers and masts for television transmitting aeriels. EBU-Review - Technical part No. 144, April 1974, S. 50-58.
- [28] Henß, P.: Strahlungsmessung an Rundfunk- und TV-Antennen mittels Hub-schrauber (Teil 2). Neues von Rohde & Schwarz 80, Winter 1977/78, S. 20-24.
- [29] Henß, P.: Meßverfahren zur Begutachtung von Antennenanlagen für UKW- und TV-Sender. Fernmeldepraxis 49 (1972) 12, S. 529-547.
- [30] Huber, F. R.: Antennenmeßtechnik. Rohde & Schwarz, Die Kurzinformation Nr. 12, 1964, S. 5-17.
- [31] Bem, D. J.: Eine neue Methode zur Messung der Richtcharakteristik von TV- und UKW-FM-Sendeantennen. Technika Radia i Telewizji, Teil 1, 16 (1972) 2, S. 9-17 (In polnischer Sprache).
- [32] Bem, D. J.: Bestimmung der Richteigenschaften von UKW-Sendeantennen an Hand von Messungen der Erregungskoeffizienten der Antennenelemente. Wrocław 1971 (In polnischer Sprache).
- [33] Pfefferl, A. W.: Ausmessen der Strahlungsdiagramme von Fernseh-Sendeantennen im Bereich IV/V. Fernmelde-Praxis 41 (1964) 10, S. 391-403.
- [34] Thomanek, L.; Trixel, W.: Strahlungsdiagramm- und Gewinnmessungen an scharf bündelnden horizontal polarisierten UHF-Antennen (Band IV/V). Rohde & Schwarz-Mitteilungen H. 19 (1965) S. 206-219.
- [35] Neuerburg, W.: Wind- und Verformungsmessungen an einem Funkturm. Technisches Messen 48 (1981) H. 3, S. 101-106; H. 4, S. 139-145; H. 7/8, S. 275-280.
- [36] Nowatzky, D.: Zur zulässigen dynamischen Auslenkung von Antennenträgern bei Fernseh-Sendeantennen. Techn. Mitt. RFZ, 16 (1972) 3, S. 77-80.
- [37] Jaschek, J.: Mechanische Schwingungsprobleme auf Antennenanlagen des ORF. E. u. M. 91 (1974) 12, S. 689-693.
- [38] Thomanek, L.: UHF-Fernseh-Sendeantennen mit Rund- oder Richtstrahlcharakteristik. Neues von Rohde & Schwarz 78, Juli 1977, S. 10-13.
- [39] Kozlik, M.: The new Tesla AHP 450 family of transmitting antennas for Bands IV and V. TESLA electronics 13 (1980) 4, S. 106-111.
- [40] Dietz, U.; Gutzmann, E.: Definition eines Antennen-Betriebsgewinns und dessen meßtechnische Ermittlung. Rundfunktechn. Mitt. 10 (1966) 5, S. 260-261.
- [41] Gschwendtner, J.: Rundfunk-Sendeantennen mit neuem, integriertem Faser-glas-Tragwerk. NTG-Fachberichte, Bd. 78 „Antennen 82“, S. 174-177.