

Die Doppeldrehkreuzlinie für Trägerfrequenzbetrieb

Von Dr.-Ing. Wilhelm Klein, Berlin

Mitteilung aus dem Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung, Berlin-Charlottenburg

Die Mehrfachausnutzung von Freileitungen durch Trägerfrequenzgeräte ist in Deutschland in den letzten Jahren eingehend untersucht worden. Besonders schwierig ist die gleichzeitige Belegung mehrerer Leitungen des gleichen Gestänges mit solchen Geräten. Im folgenden wird eine neue Bauweise der Trägerfrequenzlinien beschrieben, bei der zwei Leitungen am Gestänge hängen, die beide bis 160 kHz ausnutzbar sind.

1. Die Entwicklung der Drehkreuzleitung

Die Freileitungstechnik, die man schon lange als veraltet angesehen hatte, hat in neuerer Zeit durch die Mehrfachausnutzung mit Trägerfrequenzgeräten wieder eine sehr erhebliche Bedeutung gewonnen. Mit Hilfe solcher Geräte überträgt man auf einer Doppelleitung z. B. 15 Gespräche gleichzeitig, wobei die höchste auf der Leitung verwendete Frequenz 156 kHz ist. Es ist verständlich, daß bei der freileitungsmäßigen Übertragung solch hoher Frequenzen, die schon in den Langwellenbereich des Rundfunks hineinreichen, eine Anzahl Anforderungen an die Grundleitung gestellt werden müssen. Diese kann man dann am besten erfüllen, wenn man die Geräte nicht auf vorhandenen Niederfrequenzlinien einsetzt, sondern wenn man besondere Trägerfrequenzlinien baut. Ein Neubau einer solchen Linie ist unbedingt erforderlich, wenn man nicht nur ein Gerät, sondern gleichzeitig zwei oder noch mehr auf dem gleichen Gestänge betreiben will. In diesem Falle sind nämlich die gegenseitigen Störungen der Geräte, die durch das Nebensprechen zwischen den einzelnen Leitungen hervorgerufen werden, für die Möglichkeiten eines Betriebes maßgebend. Die Anforderungen, die in dieser Hinsicht gestellt werden, sind allerdings ganz außerordentliche. Beträgt z. B. die Nebensprechdämpfung zwischen zwei Leitungen 7 Neper (entsprechend einem Verhältnis von Störspannung zu Nutzspannung von 1 : 1000), so bedeutet das, daß auf beiden Leitungen, die weniger als 1 m voneinander entfernt sind und über vielleicht 100 km parallel laufen, gegenseitig nur 1 Millionstel der Energie übertritt, und zwar bei Frequenzen im Rundfunklangwellenbereich. Das Problem des Nebensprechens auf einem solchen Gestänge ist daher nicht leicht zu lösen.

Als Grundleitung für Trägerfrequenzgeräte mit Frequenzen bis etwa 160 kHz wird in Deutschland heute fast ausschließlich die Drehkreuzleitung verwendet. Es ist dies eine Doppelleitung auf Hakenstützen (Bild 1), bei der durch abwechselnde Mastausrüstung eine Verdrillung der beiden Drähte erreicht wird. Der Vorteil dieser Leitungsart liegt darin, daß man diese enge

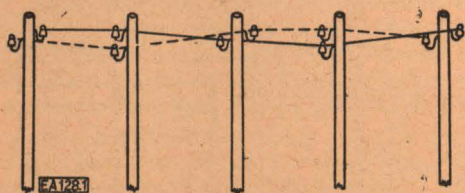


Bild 1. Drehkreuzleitung

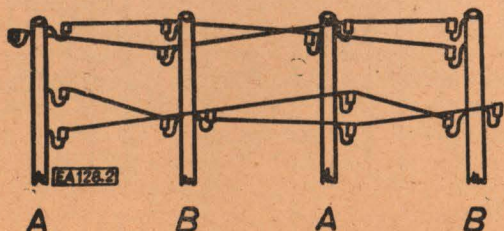


Bild 2. Doppeldrehkreuzlinie

Verdrillung, die man auch als eine Kreuzung an jedem zweiten Mast auffassen kann, ohne zusätzliches Bauteil, wie Kreuzungsisolatoren usw., in baulich außerordentlich einfacher Weise erreicht.

An einem solchen Gestänge läßt sich leicht noch eine zweite Leitung unterbringen, und es erhebt sich dann die Frage, ob und wie es möglich ist, diese beiden Leitungen so weit voneinander zu entkoppeln, daß ein gleichzeitiger Betrieb zweier Geräte mit etwa 160 kHz Höchstfrequenz durchgeführt werden kann. Nach eingehenden theoretischen und meßtechnischen Untersuchungen wurde dieses Problem mit Erfolg gelöst, so daß Richtlinien für den Bau aufgestellt werden konnten. Die Entwicklung der Doppeldrehkreuzlinie und die Beherrschung ihres Nebensprechens ist ein schönes Beispiel dafür, wie durch Anwendung rein theoretischer Forschung mit nur stichprobenweiser Nachprüfung an Versuchslinien in kürzester Zeit Ergebnisse erzielt werden können, die unmittelbar praktische Bedeutung haben. Da die Arbeiten jetzt zu einem gewissen Abschluß gekommen sind, soll über die wichtigsten Ergebnisse berichtet werden.

2. Die Eigenschaften der Doppeldrehkreuzlinien

Bei der Festlegung der endgültigen Bauweise von Doppeldrehkreuzlinien mußten bautechnische und nebensprechtechnische Gesichtspunkte in gleicher Weise berücksichtigt werden. Von den vielen ausgeführten oder vorgeschlagenen Arten wurde die nach Bild 2 als Regelbauweise ausgewählt. Bei ihr sind, wie in Bild 1, die Drähte jeder Leitung nach zwei Mastfeldern miteinander vertauscht, auch vier Mastfeldern nehmen sie wieder ihre alte Lage ein. Die zweite Leitung ist um ein Mastfeld gegenüber der ersten versetzt.

Zur Beurteilung der Nebensprecheigenschaften einer Freileitungslinie rechnet man zweckmäßigerweise nicht mit den Nebensprechdämpfungen in Neper, sondern mit den Verhältnissen der Nebensprechspannung zur Nutzspannung. Es soll das Verhältnis der Spannung am Ende der gestörten Leitung zu der am Ende der störenden Leitung bei gleichem Frequenzband den Wert $1500 \cdot 10^{-6}$ (entsprechend 6,5 Neper) nicht überschreiten. Dann ist sichergestellt, daß man die Gespräche des einen Geräts in dem andern nicht mehr verstehen kann, daß also das Fernsprechgeheimnis gewahrt ist. Sind die Frequenzen beider Geräte jedoch etwas gegeneinander verschoben, dann ist das Nebensprechen schon von vornherein unverständlich. Es wirkt dann nur noch als Störgeräusch, und die Anforderungen können entsprechend niedriger liegen. Bei Benutzung zweier frequenzverschobener Geräte kann man daher für das Spannungsverhältnis am Ende der beiden Leitungen den Wert $4000 \cdot 10^{-6}$ (entsprechend 5,5 Neper) zulassen.

3. Das Nebensprechen von Doppeldrehkreuzlinien

a) Nah- und Fernnebensprechen. Bei der Betrachtung irgendeines Nebensprechproblems muß man vor allem beachten, ob es sich um Nahnebensprechen oder um Fernnebensprechen handelt. Beim Nahnebensprechen kehrt beim Übergang von der störenden auf die gestörte Leitung die Energie ihre Richtung um,

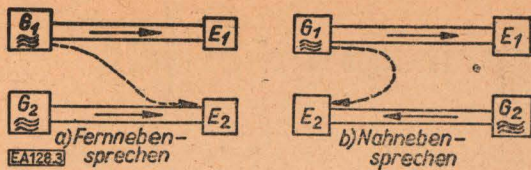


Bild 3. Einsatzmöglichkeiten von zwei Trägerfrequenzgeräten auf zwei Leitungen des gleichen Gestänges. G Sender, E Empfänger

beim Fernnebensprechen fließt sie in der gleichen Richtung weiter. Diese beiden Möglichkeiten sind in Bild 3 dargestellt, das je zwei sich gegenseitig störende Trägerfrequenzgeräte zeigt. In den gestörten Empfängern kommt bei 3a) die Nebensprechenergie nach obiger Definition durch Fernnebensprechen, bei 3b) durch Nahnebensprechen. Aus der Theorie folgt die außerordentlich wichtige Tatsache, daß das Nahnebensprechen bei Freileitungen immer wesentlich stärker ist als das Fernnebensprechen. Man muß daher bei der Aufstellung der Geräte unbedingt darauf achten, daß nur der Fall 3a), das Fernnebensprechen, eintritt. Die Geräte müssen also so aufgestellt werden, daß die Gespräche bei den kritischen höheren Frequenzen auf beiden Leitungen in gleicher Richtung und nicht etwa gegeneinander laufen. Weiterhin ergibt sich, daß man durch gute Anpassung der Stoßstellen verschiedenen Wellenwiderstandes dafür sorgen muß, daß derjenige Bruchteil des Nahnebensprechens in zulässigen Grenzen bleibt, der durch Reflexion an diesen Stoßstellen seine Richtung umgekehrt und dadurch an das ferne Ende in den gestörten Empfänger kommt.

b) Das systematische Fernnebensprechen. Wir betrachten zunächst das Nebensprechen, das bei ideal genau gebauten Leitungen auftritt. Es ist möglich, durch die gegenseitige Verdrillung der Leitungen sowie durch gewisse zusätzliche Kreuzungen diesen sogenannten systematischen Anteil des Fernnebensprechens¹⁾ vollständig zum Verschwinden zu bringen. Da aber die Leitungen praktisch immer bestimmte Bauungenauigkeiten aufweisen, tritt außerdem noch ein unsystematisches Nebensprechen auf, das sich durch Kreuzungen usw. nicht beeinflussen läßt und das nur durch Erhöhung des Genauigkeitsgrades verringert werden kann.

Ein Fernnebensprechen, das durch unmittelbaren Energieübergang von einer Leitung auf die andere (d. h. ohne Mitwirkung dritter Leitungen) zustande kommt, tritt bei gekreuzten Freileitungen nicht auf. Fernnebensprechen entsteht hier nur durch Vermittlung dritter Leitungen: Die störende Leitung erzeugt auf der dritten Leitung durch Nahnebensprechen eine Welle, die in der Richtung vom fernen Ende zum nahen Ende läuft. Durch diese Welle entsteht dann durch nochmaliges Nahnebensprechen auf der gestörten Leitung eine Welle zum fernen Ende.

Als dritte Leitungen kommen bei einer Doppeldrehkreuzlinie, bei der sich nur zwei Doppelleitungen am Gestänge befinden, folgende beiden in Frage: Der aus beiden Stämmen gebildete Vierer (Hinleitung der eine Stamm, Rückleitung der andere) und das unsymmetrische System (Hinleitung alle vier Drähte parallel, Rückleitung die Erde). Aus den Gleichungen des elektrischen und magnetischen Feldes lassen sich die kapazitiven und die induktiven Spannungen ermitteln, die zunächst auf der dritten Leitung entstehen und die dann das Nebensprechen auf den zweiten Stamm erzeugen²⁾.

Bei der Berechnung des Nebensprechens über das unsymmetrische System spielen die Eigenschaften der Erde eine Rolle. Für die elektrischen Feldlinien wirkt

die Erde wie ein Spiegel, so daß man daher das elektrische Feld in der Luft in bekannter Weise durch Überlagerung der Felder der wirklichen Drähte und ihrer Spiegelbilder erhält. Dagegen dringen die magnetischen Feldlinien je nach der Frequenz und der Bodenleitfähigkeit mehr oder weniger in die Erde ein, wodurch sich der Selbstinduktionskoeffizient des unsymmetrischen Systems ändert. Eine genaue Durchrechnung zeigt jedoch, daß man bei den praktisch vorkommenden Bodenleitfähigkeiten und Frequenzen den Einfluß dieser Erscheinung auf das Endergebnis vernachlässigen kann, daß man also auch im magnetischen Fall die Erde als vollkommen spiegelnd ansehen darf.

Man erhält³⁾ das systematische Fernnebensprechen einer Doppelkreuzlinie, das durch doppeltes Nahnebensprechen über den Vierer und über das unsymmetrische System entsteht, aus folgender Formel (α_2 bzw. α_1 bedeuten die Spannungen am Ende der mit ihren Wellenwiderständen abgeschlossenen Leitungen 2 bzw. 1):

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{5}{96 \ln \frac{a}{\rho}} \left[\frac{1}{\ln \frac{d}{\sqrt{a\rho}}} - \frac{1}{2 \ln \frac{2h}{d} + \ln \frac{d}{\sqrt{a\rho}}} \right] \frac{e_1 e_2}{d^2} \alpha^2 l w. \quad (1)$$

Die Abmessungen des Mastbildes, die in diese Formel eingehen, zeigt Bild 4. Außerdem bedeuten ρ den Drahtradius, a die mittlere Schleifenbreite im Feld, l die gesamte Leitungslänge, w den Mastabstand, f die Frequenz, $\alpha = \frac{2\pi f}{v}$ das kilometrische Phasenmaß der Leitungen und $v = 290\,000$ km/s die Wellengeschwindigkeit auf der Leitung.

Die Formel gilt für Frequenzen bis mindestens 160 kHz. Für sehr viel höhere Frequenzen, bei denen die Wellenlänge in die Größenordnung der Mastfeldlänge kommt, ist der Zusammenhang ein wenig verwickelter, doch besteht für diese Betriebsart zur Zeit kein praktisches Interesse.

Zur Prüfung der Formel (1) wurden Messungen des Fernnebensprechens in Abhängigkeit von der Frequenz an einer Versuchslinie vorgenommen, die folgende Daten hatte: $l = 7,1$ km, $w = 40$ m, $\rho = 1,5$ mm, $h \approx 5$ m, $d = 103,5$ cm, $e_1 = 38$ cm, $e_2 = 33$ cm, $a \approx 30$ cm. Bild 5 zeigt die Messpunkte und die theoretische Kurve. Es wird also nicht nur die quadratische Frequenzabhängigkeit durch die Messungen bestätigt, auch die absolute Größe des Nebensprechens ergibt sich aus der Formel mit überraschender Genauigkeit. Bei der Ausrechnung stellt man übrigens fest, daß der zweite Summand in (1), der den Einfluß des unsymmetrischen Systems wiedergibt, von der gleichen Größenordnung ist wie der erste, der den Vierereinfluß darstellt. Es ist also nicht möglich, das unsymmetrische System unberücksichtigt zu lassen.

³⁾ W. Klein: a.a.O.

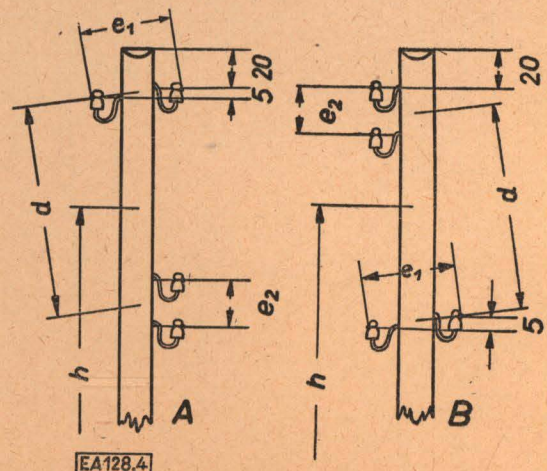


Bild 4. Mast A und B (Maße in cm) einer Doppelkreuzlinie

¹⁾ Den systematischen Anteil des Nahnebensprechens kann man durch Kreuzen usw. nur verringern, aber nicht zum Verschwinden bringen.

²⁾ W. Klein: Das systematische Nebensprechen bei Drehkreuzleitungen, Postarchiv 72 (1944), Heft 3 und 4.

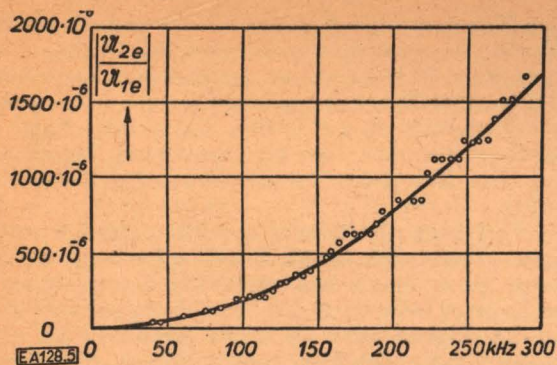


Bild 5. Das Fernnebensprechen an einer 7,1 km langen Doppeldrehkreuzlinie

Von besonderer Bedeutung für die Praxis ist, daß das Fernnebensprechen proportional der Leitungslänge l ist. Diese Tatsache gibt, wie weiter unten gezeigt wird, die Möglichkeit, durch zusätzliche Kreuzungen das systematische Fernnebensprechen zum Verschwinden zu bringen.

Schließlich hängt der Nebensprechwert nach (1) von den Querschnittsabmessungen des Mastbildes ab. Hier ist vor allem der Faktor $\frac{e_1 e_2}{d^2}$ ausschlaggebend, weil die

Glieder unter dem Logarithmus nur einen verhältnismäßig geringen Einfluß auf das Ergebnis haben. Man muß also zur Erreichung eines guten Fernnebensprechens die Isolatorabstände e_1 und e_2 möglichst klein und den Leitungsabstand d möglichst groß machen, was ja auch unmittelbar anschaulich ist. Natürlich sind Grenzen durch bautechnische Gesichtspunkte gegeben. Eine zu enge Schleifenbreite bringt z. B. die Gefahr des Zusammenschlagens der Drähte mit sich, und ein zu großer Leitungsabstand erfordert zu hohe Maste. Bei einer älteren Ausführungsform der Doppeldrehkreuzlinie waren folgende Werte vorgesehen: $e_1 = 45$ cm, $e_2 = 40$ cm, $d = 100$ cm. Man erhält damit für einen Mastabstand von $w = 50$ m und eine Frequenz von 160 kHz nach (1) ein kilometrisches Fernnebensprechen von $135 \cdot 10^{-6}/\text{km}$. Dieser Zahlenwert ist an mehreren Leitungen dieser Bauart durch Messung gut bestätigt worden. Inzwischen hat sich aber gezeigt, daß die bautechnischen Rücksichten ein noch günstigeres Mastbild zulassen. Die heutige Regelbauform sieht die Werte $e_1 = 45$ cm, $e_2 = 25$ cm, $d = 112,5$ cm vor; sie ergibt für 160 kHz ein kilometrisches Fernnebensprechen von nur $55 \cdot 10^{-6}/\text{km}$. Das systematische Fernnebensprechen ist daher bei der neuen Bauweise nur etwa halb so groß wie bei der alten. Das ist insofern wichtig, weil durch ein günstigeres Mastbild nicht nur das systematische, sondern auch das unsystematische Nebensprechen entsprechend verbessert wird. Wie die inzwischen gebauten Linien gezeigt haben, ist diese Verbesserung auch unbedingt erforderlich, wenn man nicht zur Einhaltung der oben angegebenen Grenzwerte für das Nebensprechen an die Baugenauigkeit unnötig hohe Anforderungen stellen will.

c) Das unsystematische Fernnebensprechen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Gültigkeit der besprochenen Formel (1) ist, wie erwähnt, daß es sich um ideal gebaute Linien handelt. Dazu gehört z. B., daß der Mastabstand genau eingehalten wird, weiter, daß die Isolatoren an jedem Mast an der vorgeschriebenen Stelle sitzen, vor allem aber, daß in jedem Mastfeld die Durchhänge aller Drähte genau genug gleich sind.

Das alles ist in der Praxis nur bis zu einem gewissen Grade der Fall. Wie daher die Meßergebnisse an einer längeren Doppeldrehkreuzlinie (73,25 km) in Abhängigkeit von der Frequenz aussehen, zeigt Bild 6: Die Meßpunkte streuen sehr erheblich um die berechnete theoretische Parabel.

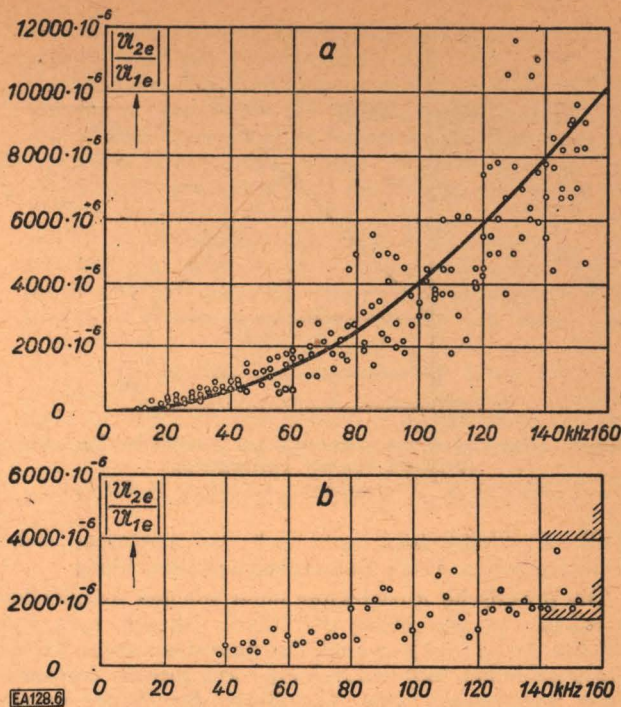


Bild 6. Das Fernnebensprechen an einer 73,25 km langen Doppeldrehkreuzlinie
a Fehlerfreie Linie ohne zusätzliche Kreuzungen b Eine zusätzliche Kreuzung in der Mitte

Das wesentliche Kennzeichen bei der theoretischen Behandlung des Einflusses solcher Bauungenauigkeiten auf das Nebensprechen ist, daß sich die Abweichungen nicht im einzelnen zahlenmäßig angeben lassen. Es werden daher hier die Rechenverfahren der Statistik angewendet, die nicht von den Einzelwerten ausgehen, sondern die Beziehungen zwischen Mittelwerten herstellen. An dieser Stelle soll jedoch hierauf nicht weiter eingegangen werden; es genügt für unsere Zwecke zu wissen, daß durch bestimmte Genauigkeitsvorschriften beim Bau dieses unsystematische Nebensprechen in zulässigen Grenzen gehalten werden kann.

4. Der Kreuzungsausgleich

Die Abhängigkeit des systematischen Anteils des Fernnebensprechens von der Länge l der beeinflussten Strecke kann man mit einer Meßanordnung nach Bild 7 nachprüfen. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Meßgeräte (Sender, Eichleitung, Anzeigegerät) ihren Platz an den Enden der Linie beibehalten können, während die Länge l der beeinflussten Leitung durch Auftrennen und Abschließen mit dem Wellenwiderstand an bestimmten Punkten verändert wird. Trägt man bei einer bestimmten Frequenz (z. B. 160 kHz) die gemessenen Werte des Fernnebensprechens über der Leitungslänge auf, so ergibt sich, wie nach Formel (1) zu erwarten ist, eine Gerade durch den Nullpunkt (Bild 8). Ist an einer Stelle der Linie in der oberen oder in der unteren Leitung eine Kreuzung vorhanden, dann bekommt diese Gerade die entgegengesetzte Steigung wie vorher. Bei einer Kreuzung in der Mitte der Linie^{a)}, wird also nach Bild 8 für die ganze Linie der systematische Anteil des Fernnebensprechens gleich

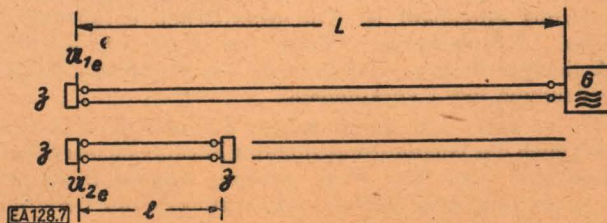


Bild 7. Meßanordnung zur Prüfung der Längenabhängigkeit des Fernnebensprechens

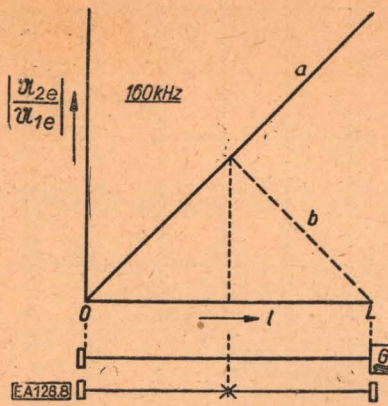


Bild 8. Abhängigkeit des systematischen Anteils des Fernnebensprechens von der Leitungslänge

l Leitungslänge a ungekreuzt b Kreuzung in der Mitte

Null. Es bleibt dann nur noch das unsystematische Nebensprechen durch Bauungenauigkeiten übrig.

Die praktische Auswirkung einer solchen Ausgleichskreuzung in der Mitte der Linie erkennt man aus Bild 6b. Es ist hier nur noch der unsystematische Anteil übrig geblieben und dadurch eine wesentliche Verbesserung eingetreten. Das Verhältnis der Nebensprechspannung zur Nutzspannung am Ende der Linie liegt bis 160 kHz unterhalb $4000 \cdot 10^{-6}$. Daher kann man diese Linie mit zwei gegeneinander frequenzverschobenen Trägerfrequenzgeräten, die nur unverständliches Nebensprechen ergeben, bis 160 kHz ausnutzen. Daß die Linie nicht den Wert von $1500 \cdot 10^{-6}$ erreicht und damit auch bei verständlichem Nebensprechen brauchbar ist, liegt in diesem besonderen Fall an der ausnahmsweise großen Bauungenauigkeit und daran, daß die Linie noch mit dem oben erwähnten ungünstigeren Mastbild gebaut war.

Die gleiche Wirkung wie durch eine Ausgleichskreuzung in der Mitte der Linie kann man auch durch Überlagerung eines der üblichen Kreuzungspläne über eine der beiden Leitungen erreichen. Wesentlich ist jedoch in jedem Falle, daß die Kreuzungsschritte sehr lang sind (mindestens 5 bis 10 km), damit sie bereits eine ausreichende Leitungsdämpfung haben. Andernfalls würde bei bestimmten Frequenzen des Übertragungsbereichs das Nahnebensprechen zu stark erhöht und damit wegen der unvermeidlichen Reflexionen auch das Fernnebensprechen verschlechtert werden.

5. Der Einfluß der Kreuzungsfehler

Der Bau einer Drehkreuzleitung erfolgt so, daß beide Drähte gleichzeitig von zwei Drahthaspeln abgerollt werden. Diese Haspeln werden nebeneinander die Strecke entlanggetragen und bei jedem zweiten Mast wird die rechte Haspel über die linke gesetzt. Dadurch kommt die Kreuzung der beiden Drähte zustande, und zwar erhält die Leitung dadurch Linksdrall. Es kommt nun gelegentlich vor, daß durch Unachtsamkeit das Übersetzen der Haspeln und damit das Kreuzen der Drähte unterbleibt. An einer solchen Stelle entsteht ein Kreuzungsfehler, der sich auf das Nebensprechen so auswirkt, als ob in die Drehkreuzleitungen, ähnlich wie in Bild 8, an dieser Stelle eine zusätzliche Kreuzung eingebaut ist. Die praktischen Erfahrungen zeigen, daß derartige Fehler vor allem an baulich schwierigen Stellen (Überkreuzen von Leitungen, Bahnkreuzungen usw.) vorkommen.

Es ist klar, daß durch solche Kreuzungsfehler der Ausgleich des längenproportionalen Fernnebensprechens beeinflusst wird. Um einen solchen Ausgleich zu ermöglichen, müßten also alle Kreuzungsfehler beseitigt

⁴⁾ Diese entscheidende Maßnahme wurde von Herrn Dipl.-Ing. F. Rinck, s. Z. beim Reichspostzentramt Berlin, vorgeschlagen.

werden. Für das Aufsuchen der Kreuzungsfehler wurde ein Verfahren entwickelt⁵⁾, bei dem die Drähte durch Anlegen einer Gleichspannung gekennzeichnet werden. Mit Hilfe eines Spannungsmessers wird nun an jedem Mast nachgeprüft, ob die Drähte die richtige Lage auf den Isolatoren haben oder ob durch einen Kreuzungsfehler eine Umpolung vorgekommen ist (Drahtlageprüfung).

Das Verfahren, die Kreuzungsfehler sämtlich zu beseitigen, erweist sich in der Praxis allerdings als sehr mühsam. Es ist meist bequemer, die Kreuzungsfehler in der Linie zu lassen und die Auswirkung dieser Fehler durch den Einbau einer Ausgleichskreuzung an einer bestimmten Stelle der Linie auszugleichen. Bild 9 zeigt die Grundlagen eines solchen Nebensprechausgleichs. Sind in der Linie drei Kreuzungsfehler an den Stellen K enthalten, dann erhält man für die Abhängigkeit des Fernnebensprechens von der Leitungslänge die angegebene Zickzacklinie. Für die gesamte Leitungslänge bleibt ein immerhin beträchtlicher Restbetrag übrig, dessen Größe von der zufälligen Lage der Kreuzungsfehler abhängt und der ungünstigenfalls gleich dem Fernnebensprechen der völlig ungekreuzten Linie ist. Man kann diesen Anteil vollständig zum Verschwinden bringen, wenn man an der Stelle A in eine der beiden Leitungen eine Ausgleichskreuzung einbaut.

6. Richtlinien für den Bau und die Inbetriebnahme von Doppeldrehkreuzlinien

Beim Bau einer größeren Zahl von Linien konnten bereits praktische Erfahrungen gesammelt werden, von denen hier einige mitgeteilt werden sollen.

Das Abstecken der einzelnen Mastfelder von je 50 m Länge hat mit möglicher Genauigkeit zu erfolgen. Bei örtlichen Schwierigkeiten, wie sie meist bei Straßenkreuzungen usw. auftreten, dürfen die Mastfeldlängen verkürzt oder auch etwas verlängert werden, jedoch nur so, daß immer vier aufeinanderfolgende Mastfelder gleich lang sind. Der Bau von portalartigen Gerüsten, der gelegentlich durchgeführt wurde, um trotz der Hindernisse die Maste an die vorgeschriebenen Stellen zu setzen, ist durch diese Richtlinie nur noch in seltenen Ausnahmefällen erforderlich.

Die Hakenstützen werden unter Verwendung einer Lehre in den Mast eingebohrt. Der Durchhang wird zunächst in der oberen Leitung, dann in der unteren Leitung eingeregelt. Danach muß die obere Leitung noch einmal nachgeregelt werden, weil sie sich durch das Arbeiten an der unteren geändert hat. Die Arbeiter, die die Durchhangsregelung durchführen, übernehmen gleichzeitig eine sehr wichtige Aufgabe: Sie müssen darauf achten, daß keine Kreuzungsfehler in der Leitung sind, und gegebenenfalls ihre Beseitigung veranlassen.

Nach Fertigstellung der Linie sollte man, wenn irgend möglich, das Fernnebensprechen bei 160 kHz messen.

⁵⁾ W. Klein: Das Aufsuchen der groben Baufehler in Drehkreuzleitungen für Trägerstromsprechen, TFT 32 (1943) S. 125–127.

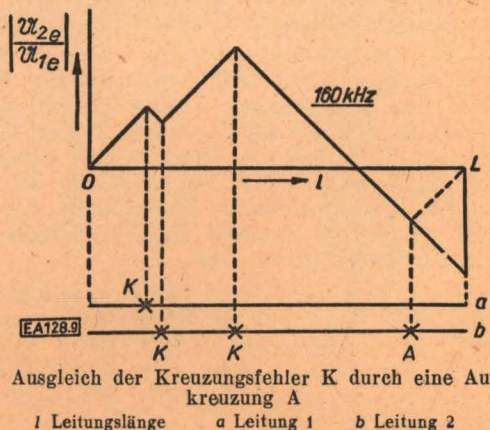


Bild 9. Ausgleich der Kreuzungsfehler K durch eine Ausgleichskreuzung A

l Leitungslänge a Leitung 1 b Leitung 2

Dabei muß man den aus dem kilometrischen Fernnebensprechen und der Leitungslänge folgenden Wert erhalten. Durch eine Kreuzung in der Mitte der Linie wird man dann die geforderten Richtwerte gut einhalten können. Ist der Wert von vornherein niedriger (also besser) als der theoretische Wert, so ist das ein Zeichen, daß Kreuzungsfehler in der Linie sind. Man nimmt dann mit der Meßanordnung (Bild 7) ein Stück der Zickzackkurve (Bild 9) auf und bestimmt hieraus die Lage der Ausgleichskreuzung. Steht keine Hochfrequenzmeßeinrichtung zur Verfügung, dann muß man wenigstens stichprobenweise (z. B. alle km) die Drahtlageprüfung durchführen, auf Grund der dadurch festgestellten ungefähren Lage der Kreuzungsfehler die Zickzackkurve zeichnen und in gleicher Weise wie oben die Lage der Ausgleichskreuzung festlegen. Durch eine einwandfreie Numerierung der Maste wird die Drahtlageprüfung sehr erleichtert.

Von besonderer Wichtigkeit ist es, die Reflexionsstellen zu vermeiden. Insbesondere müssen die Stoß-

stellen zwischen der Freileitung und Kabelstücken angepaßt werden. Es sind dies z. B. Zwischenkabel in Ortschaften, bei Hochspannungskreuzungen und Flußüberquerungen sowie Einführungskabel in die Ämter. Ein übliches unbespultes Kabel hat bei den hier verwendeten Frequenzen einen Wellenwiderstand von rd. 150 Ohm reell, während die Freileitung rd. 600 Ohm Wellenwiderstand hat. Zur Anpassung dieser Stoßstellen kann man die Kabelstücke pupinisieren, damit sie ebenfalls einen Wellenwiderstand von 600 Ohm wie die Freileitung erhalten. Man verwendet aber auch Anpassungsüberträger von 150 Ohm auf 600 Ohm. Diese sind als Sparüberträger geschaltet, damit man über sie auch die Gleichstrommessungen bei einer Fehlereingrenzung durchführen kann. Die Überträger brauchen nur für die höheren Frequenzen das richtige Übersetzungsverhältnis zu haben, denn bei den tieferen Frequenzen ist ein größerer Reflexionsfaktor zulässig, weil hier das Nebensprechen an sich schon wesentlich kleiner ist.