Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen

Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere

Band: 41 (1968)

Heft: 10

Rubrik: Funk und Draht

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 19.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Funk und Draht

Beilage zum «Pionier» zur fachtechnischen Ausbildung der Übermittlungstruppen

Richtfunktechnik für die Truppe

R. Steinhart

Beim nachstehenden Artikel handelt es sich um einen Vortrag, der während des Wintersemesters 1967/68 im Rahmen der Vorlesung «Krieg im Äther» an der Militärwissenschaftlichen Abteilung und der Freifächerabteilung der Eidg. Technischen Hochschule gehalten wurde. Leiter dieser Vorlesung ist der Waffenchef der Uebermittlungstruppen, Herr Oberstdivisionär E. Honegger.

A. Die Bedeutung der Richtfunktechnik

Die Richtfunktechnik hat sich etwa 1950 zu einem Mittel der Weitverkehrs-Nachrichtenübertragung entwickelt, die heute dem Koaxialkabel in Leistungsfähigkeit, Güte und Zuverlässigkeit in nichts nachsteht. Je nach der geographischen und geologischen Struktur eines Landes oder Landstriches, in dem eine Weitverkehrs-Verbindung erstellt werden soll, sind die Kosten einer Richtfunkverbindung oft geringer, als die einer vergleichbaren Kabelverbindung und daher sind Richtfunksysteme der verschiedensten Art, Kapazität und Entfernung im letzten Jahrzehnt zu einem unentbehrlichen Bestandteil der nationalen und internationalen Fernmeldenetze in den meisten Ländern der Erde geworden. Im besonderen liegt Europa hinsichtlich der Dichte seiner Richtfunknetze wohl an der Spitze der Welt und die Anforderungen, die mit Rücksicht auf die enorm grosse Anzahl von sich kreuzenden und parallel laufenden Linien an die Geräte gestellt werden, haben wohl in der Zwischenzeit zu Leistungen geführt, die allgemein anerkannt sind.

Ein besonderer Vorzug der Richtfunktechnik liegt in der schnellen Aufbaumöglichkeit, insbesondere in schwierigem Gelände oder für Strecken, die aus geologischen oder auch politischen Gründen nicht ohne weiteres zugänglich sind. Ist im besonderen das Nachrichtenbedürfnis nur von temporärem Charakter, so werden hierfür sogenannte mobile Richtfunkanlagen verwendet.

Allerdings ist die technische Realisierung eines mobilen Richtfunknetzes durchaus nicht neu. Es ist in Fachkreisen sicherlich weitgehend bekannt, dass bereits im zweiten Weltkrieg umfangreiche Richtfunknetze für militärsiche Nachrichtenübertragung zunächst mit 1-Kanal-Geräten bei 500 MHz («Michael») und später mit 10-Kanal-Geräten («Rudolf und «Stuttgart») in sehr grossen Stückzahlen aufgebaut wurden, wobei die Strekkenlänge weit über 50 000 km betrug und die Entfernung zwischen zwei Endstellen über 5000 km erreichte.

So gesehen war die Bewährungsprobe der Richtfunktechnik bereits vor und im zweiten Weltkrieg erfolgt und gerade die guten Erfolge, die sich hierbei zeigten, gaben dann die Impulse, nach dem Krieg mit neuer Aufgabenstellung und verbesserter Technik dies wieder aufzugreifen. Die neuen Aufgaben lagen im besonderen zunächst in der Übertragung einer grösseren Anzahl von Gesprächskanälen und dann, anfangs der fünfziger Jahre, in der Übertragung von Breitband-Kanälen für die Fernsehbildübertragung. Gerade die letzgenannte Aufgabe konnte zur damaligen Zeit nur von der Richtfunktechnik gelöst werden. So sind in den letzten Jahren viele hundert Richtfunkstationen (in Deutschland z. B. über 300) in Betrieb genommen worden und welch ein enormer Nachrichtenfluss hiermit übertragen wird, ergibt sich beispielsweise aus der Betrachtung der Richtfunkverbindung Hamburg–Frankfurt–München, auf der durchwegs mehr als 6 Tuben parallel und im Vierdrahtverkehr laufen, von den vielen Abzweigen und den Linien im Bezirksverkehr ganz abgesehen. Jede dieser Richtfunktuben hat eine Übertragungskapazität von 960 Gesprächskanälen oder von einem Fernsehbild mit Begleitton.

B. Über die Planung von Richtfunknetzen

Bevor solche Richtfunknetze stehen und mit der vorgesehenen Zuverlässigkeit funktionieren, ist jedoch eine entsprechende Planung der Strecken unerlässlich. Damit ist nicht die Planung der Geräte selbst gemeint, denn diese erfolgt je nach der Aufgabenstellung möglichst universell, um sehr vielen Einsatzmöglichkeiten Rechnung tragen zu können und vielfach auch zusammen mit den Bedarfsträgern, d. h. also mit den postalischen Verwaltungen oder den zuständigen militärischen Stellen auf Grund von Pflichtenheften. Im folgenden geht es um die Planung von konkreten Strecken unter Anwendung bereits vorhandener Geräte. Diese Planung ist entscheidend wichtig, um mit Rücksicht auf die hohen Investitionskosten und auf die grundsätzliche Bedeutung, die eine Richtfunkstrecke für den Nachrichtenweitverkehr haben wird, eine Verbindung hoher Zuverlässigkeit und Übertragungsqualität zu erhalten. Dies gilt selbstverständlich nicht nur für postalische Dienststellen, sondern auch für militärische Netze, gleichgültig ob stationär oder mobil.

Soweit im Zusammenhang von mobilen Strecken die Rede ist, muss auf einen grundsätzlichen Unterschied der RF-Technik gegenüber mobilen Nachrichtenverbindungen im KW-Funk hingewiesen werden:

Bei Richtfunkanlagen im Bereich ab 400 MHz handelt es sich stets um sogenannte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, d. h. eine Sendeeinrichtung ist stets einer und nur einer Empfangseinrichtung zugeordnet. Aus diesem Grunde werden Antennen hoher Bündelung und damit hohen Gewinnes verwendet, die exakt aufeinander ausgerichtet sein müssen, um eine Verbindung der gewünschten Übertragungsgüte und Zuverlässigkeit zu erhalten. Damit verbietet sich eine Bewegung der Antennen und der Geräte während des Betriebes von selbst. Spricht man also in diesem Zusammenhang von mobilen Geräten, so meint man damit Geräte, die auf Grund besonderer Massnahmen sehr schnell aufgebaut und in Betrieb genommen werden können und in denen gegebenenfalls auch bei Bedienung durch weniger gut geschultes Personal die Fehlermöglichkeiten durch falsche Bedienung gering ist. In jedem Falle muss das Netz aber während des Betriebes in Ruhe sein. Dies steht — wie gesagt — im Gegensatz zur Sprachregelung im KW-Funk, wo eine Nachrichtenverbindung während des Transportes der Geräte durchgeführt werden kann.

Der stationäre Betrieb von Richtfunkstrecken auch bei mobilen Netzen ergibt sich aber auch von der Aufgabenstellung her: Im Richtfunk handelt es sich fast immer um Vielkanalübertragung, d. h. es sind stets eine grössere oder grosse Anzahl von Teilnehmern über eine Richtfunkstrecke miteinander verbunden, die jedoch völlig unabhängig voneinander operieren. Damit ist eine Bewegung des gemeinsamen Übertragungsmittels natürlich ebenfalls ausgeschlossen.

Im Gegensatz zu einer Kabelstrecke ist bei einer Richtfunkstrecke ein wesentlicher Teil der Strecke, nämlich der freie

Raum dazwischen, das sogenannte Funkfeld, nicht von der Technik zu beeinflussen. Vielmehr sind seine Eigenschaften so zu nehmen, wie sie sind. Man kann lediglich nach Kenntnis dieser Eigenschaften diese so geschickt wie möglich ausnutzen bzw. deren Unarten so geschickt wie möglich umgehen.

Hierauf wird nun im folgenden näher eingegangen:

1. Streckenschnitt und Fresnelzone

Im Bild 2 ist ein willkürlicher Streckenschnitt angefertigt, an dessen Enden die beiden Richtfunkstellen stehen sollen. Verbindet man beide Antennen durch einen geraden Strich miteinander und schneidet hierbei kein Hindernis an, so besteht direkte Sicht zwischen beiden Stationen und das muss sein, da sich höchstfrequente Radiowellen geradlinig ausbreiten (quasioptisch). Nun handelt es sich aber hier um eine Energieübertragung in Gestalt von echtem Leistungstransport, denn am Empfänger kann man eine echte Empfangsleistung mit dem Leistungsmesser messen. Demzufolge benötigt der Strahl eine gewisse Ausdehnung und es darf nicht nur gerade der Strahl von allen Seiten so begrenzt sein, dass nur der Bleistiftstrich praktisch Platz hat. Wie gross das Volumen sein muss, um optimale Übertragung zu erhalten, hat bereits der französische Physiker Fresnel mit Lichtstrahlen festgestellt und zwar hat er in einen Lichtstrahl eine Lochblende gestellt und bemerkt, dass die Helligkeit am Empfangspunkt am grössten ist, wenn ein Umwegstrahl gerade um $\tau/2$ länger ist als der direkte. Dies hängt mit dem Huygensschen Prinzip zusammen, wonach vom Sender aus Kugelwellen abgestrahlt werden und jeder Punkt dieser Kugelwelle wieder ein Kugelstrahler ist. Der geometrische Ort aller Punkte, deren Summe der Entfernungen von zwei festen Punkten konstant $= \tau/2$ ist, ist bekanntlich eine Ellipse, und diese Ellipse ist in Bild 2 eingezeichnet. Man nennt sie die Fresnel-Ellipse oder Fresnel-Zone erster Ordnung, und es ist in der Richtfunktechnik üblich und nach Möglichkeit stets anzustreben, die erste Fresnel-Zone freizuhalten. Das bedeutet, dass man, je nach Höhe der Hindernisse, den einen Mast oder den anderen entsprechend erhöhen muss, um die Fresnel-Zone über ihr ganzes Profil freizuhalten. Es bedarf wohl keines Hinweises, dass die Fresnel-Zone in Wirklichkeit ein Rotationsellipsoid ist, denn die Bedingung, wonach die Umwegstrahlen einen um $\tau/2$ längeren Weg zurücklegen sollen, gilt natürlich auch für die Ausbreitung in der horizontalen Ebene. In der Praxis bedeutet das, dass man bei Richtfunkstrecken durch Schluchten bzw. längs schroff ansteigenden Bergen ebenfalls dieses Fresnel-Elliploid beachten muss.

Die oben gemachte Voraussetzung der geradlinigen Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen gilt an sich nur im homogenen Medium. Die Atmosphäre ist jedoch meist nicht exakt homogen, vielmehr ist die Dichte der Luft über der Erdoberfläche etwas abhängig von der Temperatur, dem Luftdruck und der Feuchtigkeit und alle diese Grössen nehmen im Normalfall mit der Höhe ab. Durchläuft aber eine elektromagnetische Welle ein Medium abnehmender Dichte, so wird

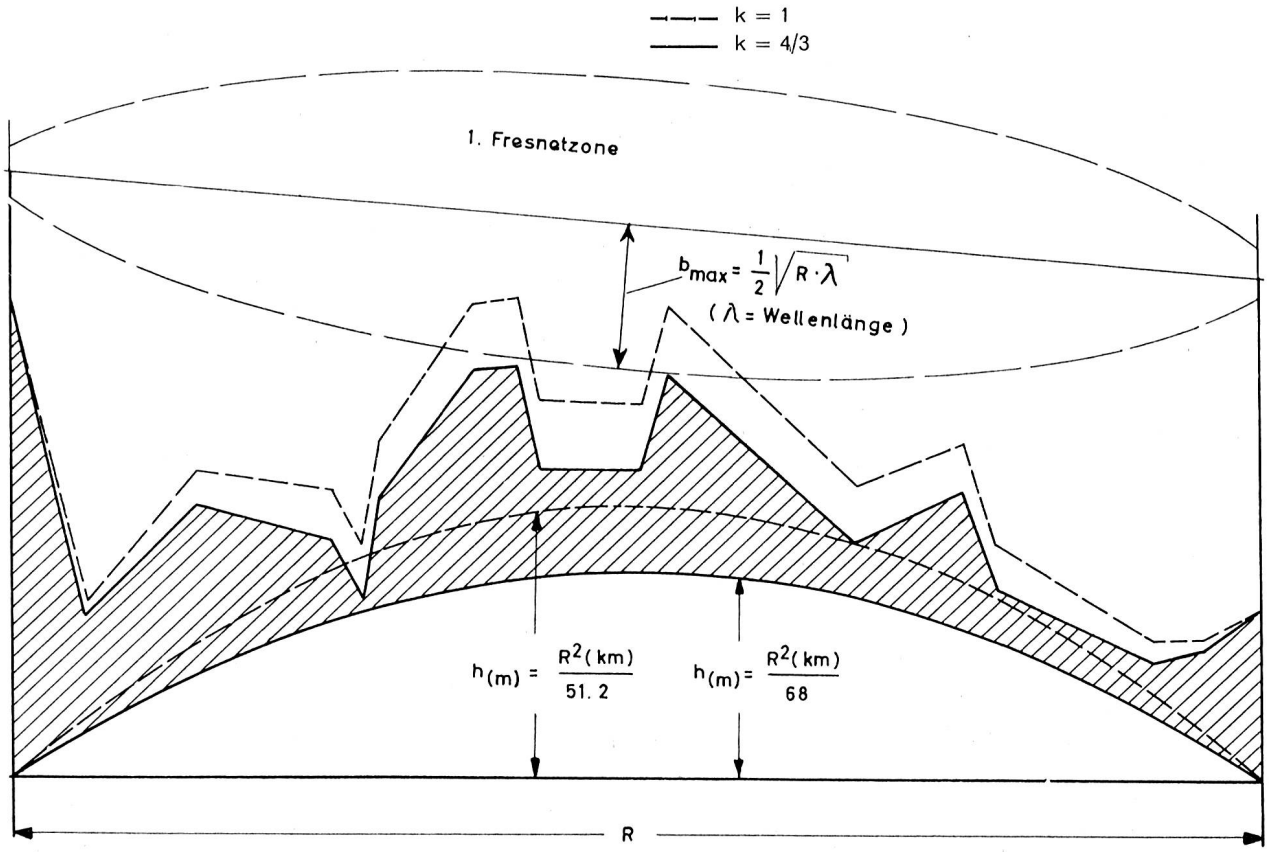
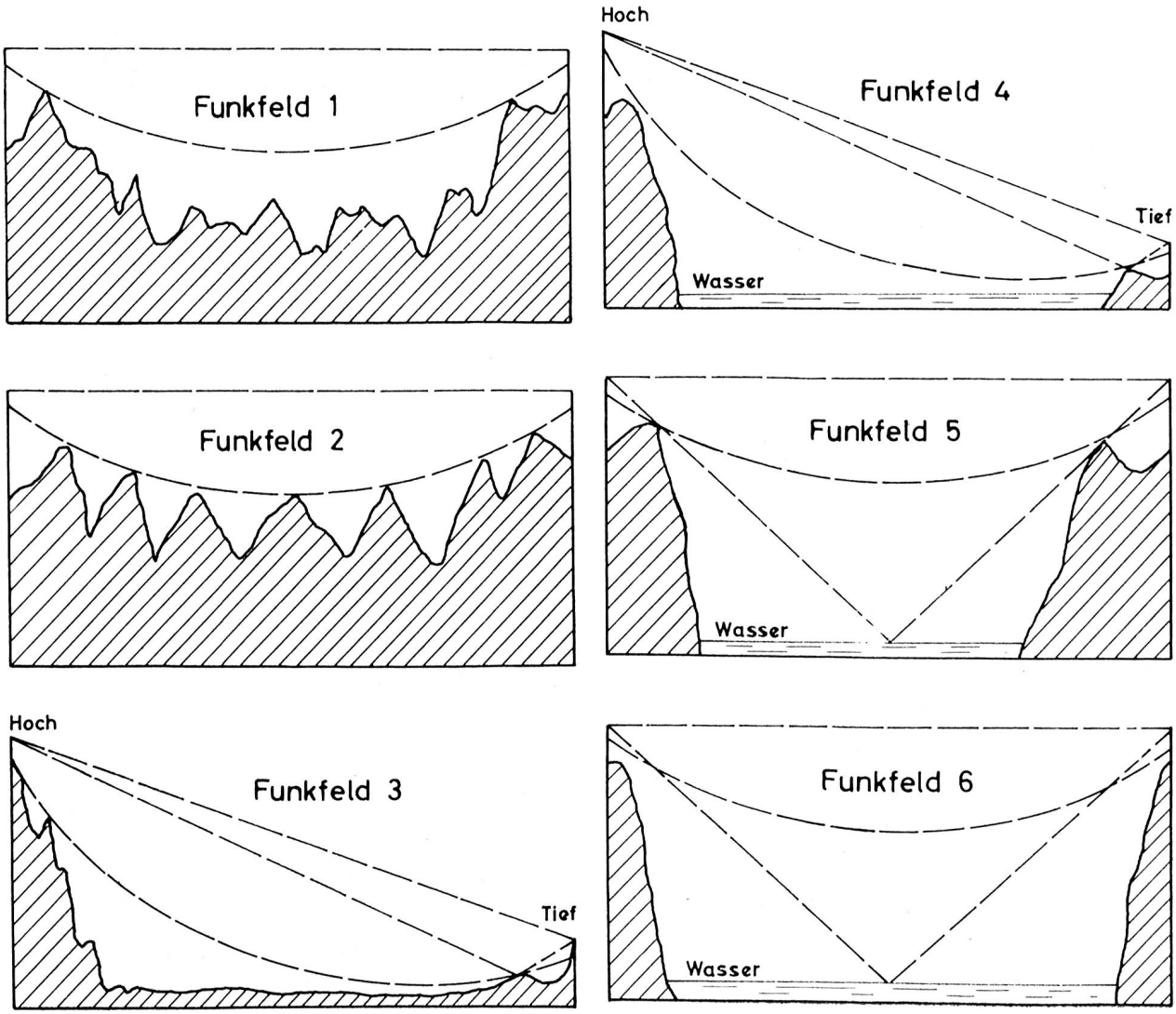


Bild 2: Streckendurchschnitt bei verschiedenen Berechnungskoeffizienten k

der Strahl infolge des abnehmenden Berechnungsindexes zum dichteren Medium hin gebrochen. Da das dichtere Medium aber unten liegt, heisst das, dass der Funkstrahl zur Erde hin gebrochen wird. Dieser Effekt hat für die Reichweite eines Richtfunkstrahles eine vorteilhafte Bedeutung, denn infolge der Krümmung zur Erde hin erreicht man eine etwas grössere Reichweite, oder anders betrachtet, man kommt mit geringeren Masthöhen aus. Aus rein praktischen Gründen zeichnet man nicht den Richtfunkstrahl im Streckenschnitt gekrümmt, sondern man trägt dieser Brechung des Strahles dadurch Rechnung, dass man im Bild den Radius der Erde etwas vergrössert, die Erde wird also verflacht, und dann können die Hindernisse wieder in ihrer Originalhöhe und der Funkenstrahl wieder gradlinig eingezeichnet werden. Wie weit man nun den Radius der Erde vergrössern muss, um wieder einen gradlinigen Funkstrahl zu haben, wurde in jahrelangen Erfahrungen und Messungen ermittelt und zwar ergibt sich hierfür ein Erdradius von 4/3 r = 8500 km. Dies ist im gezeigten Dia ebenfalls noch angedeutet. Man sieht, dass mit dem Krümmungsfaktor von k = 4/3 die 1. Fresnel-Zone frei ist, während mit k = 1 man höhere Maste brauchen würde, um die 1. Fresnel-Zone freizuhalten.

2. Schwunderscheinungen

Es wird noch einmal zusammengefasst:
Das korrekte Funkfeld soll so aussehen, dass unter Berücksichtigung des Erdkrümmungsfaktors von k = 4/3 die erste Fresnelzone gerade frei ist und an die Hindernisse tangiert. Dann nämlich ergibt sich eine optimale Empfangsfeldstärke. Soweit die geographischen Verhältnisse den Aufbau eines solchen Funkfeldes erlauben, wird man also bei allen Planungsarbeiten so verfahren. Sind diese idealen Verhältnisse jedoch nicht realisierbar, so muss man überlegen, wie man trotzdem zu einer zuverlässigen Verbindung kommt.
Mitunter ist es z. B. einfach nicht möglich, die Antennen in entsprechende Höhen zu bringen, sei es, dass man zu hohe Maste benötigen würde oder dass der Untergrund Maste



311 Bild 3: Ausbreitungsbedingungen auf verschiedenartigen Funkfeldern

grosser Höhen nicht aushält. Im stationären Verkehr, ganz besonders aber für postalische Zwecke, wird man solche Funkfelder immer vermeiden und evtl. über eine andere Trasse gehen. Im militärischen Einsatz und im mobilen ist es möglicherweise unumgänglich, dass eine solche Verbindung erst einmal installiert wird, vielleicht als Notlösung und darum ist es gut, einige Zahlen zu wissen, was dann passiert. Wenn z. B. Fresnelzone mit einem scharfkantigen Hindernis zu einem Drittel abgeschnitten wird, beträgt der Verlust nur etwa 1,5 dB. Wird die Sichtlinie tangiert, so beträgt die Abschattungsdämpfung 6 dB, d. h. ¾ der Leistung wird abgeschattet und nur ¼ kommt noch am Empfänger an. Gerät man aber nicht nur mit einem scharfkantigen Hindernis zur Sichtlinie, sondern handelt es sich um ein Stück der Erdkrümmung in ebenem Gelände, dann spricht man von streifender Sicht und die Dämpfung beträgt etwa 20 dB, d. h. 99 % der Energie wird gedämpft und nur 1 % kommt an.

Geht man nach der anderen Seite, d. h. ist mehr als die erste Fresnelzone frei, so geht die Sache durchaus nicht besser, sondern das Funkfeld kann sogar recht unangenehme Eigenschaften aufweisen (Bild 3). Die ersten beiden Funkfelder sind ungefähr das, was man haben möchte, man tangiert die erste Fresnelzone, überschreitet sie aber nicht. Schwierige und unstabile Ausbreitungesverhältnisse sind im allgemeinen im flachen Gelände zu erwarten, wenn sich die beiden Antennen etwa auf gleicher Höhe befinden und der Reflexionspunkt dadurch in die Mitte des Funkfeldes fällt (Funkfeld 6), weil dann viele Fresnelzonen wirksam sind. Der Umweg beträgt viele Wellenlängen und damit ergibt eine nur geringfügige Schwankung des Brechungsindexes durch Änderung der Temperatur oder insbesondere der Feuchtigkeit maximale Schwankungen zwischen Auslöschung und Addition der beiden Strahlen. Dies gilt ganz besonders für Wasserstrecken einmal deshalb, weil Wasser ein guter Reflektor ist und damit die reflektierte Welle mit praktisch der gleichen Intensität als Störwelle entsprechender Phasenverschiebung an der Empfangsantenne einfällt und zum anderen, weil sich über Wasser besonders leicht Schichten bilden, d. h. Luftschichten mit sprunghaft verändertem Brechungsindex, so dass man äusserst starke Fadingeinbrüche hat. Viel günstiger ist die Sache bei Antennen unterschiedlicher Höhe, weil dann der Reflexionspunkt in der Nähe der einen Antenne liegt, d. h. man ist wieder in der Nähe der ersten Fresnelzone und erhält die gewünschten Verhältnisse. Ein anderer Trick, Funkfelder mit vielen Fresnelzonen zu vermeiden, liegt darin, die Antennen nicht unmittelbar an die inneren Kanten zu legen, sondern man setzt sie etwas zurück, um die reflektierten Strahlen von den Antennen abzuschirmen (Funkfeld 5). Im besonderen sollte man bei Funkfeldern über Wasser die Antennenmaste etwas vom Ufer zurücksetzen, um die Reflexionspunkte auf Land zu legen, weil dort der Reflexionsfaktor geringer ist und damit die Störungsmöglichkeit grundsätzlich herabgesetzt wird. Die vor-

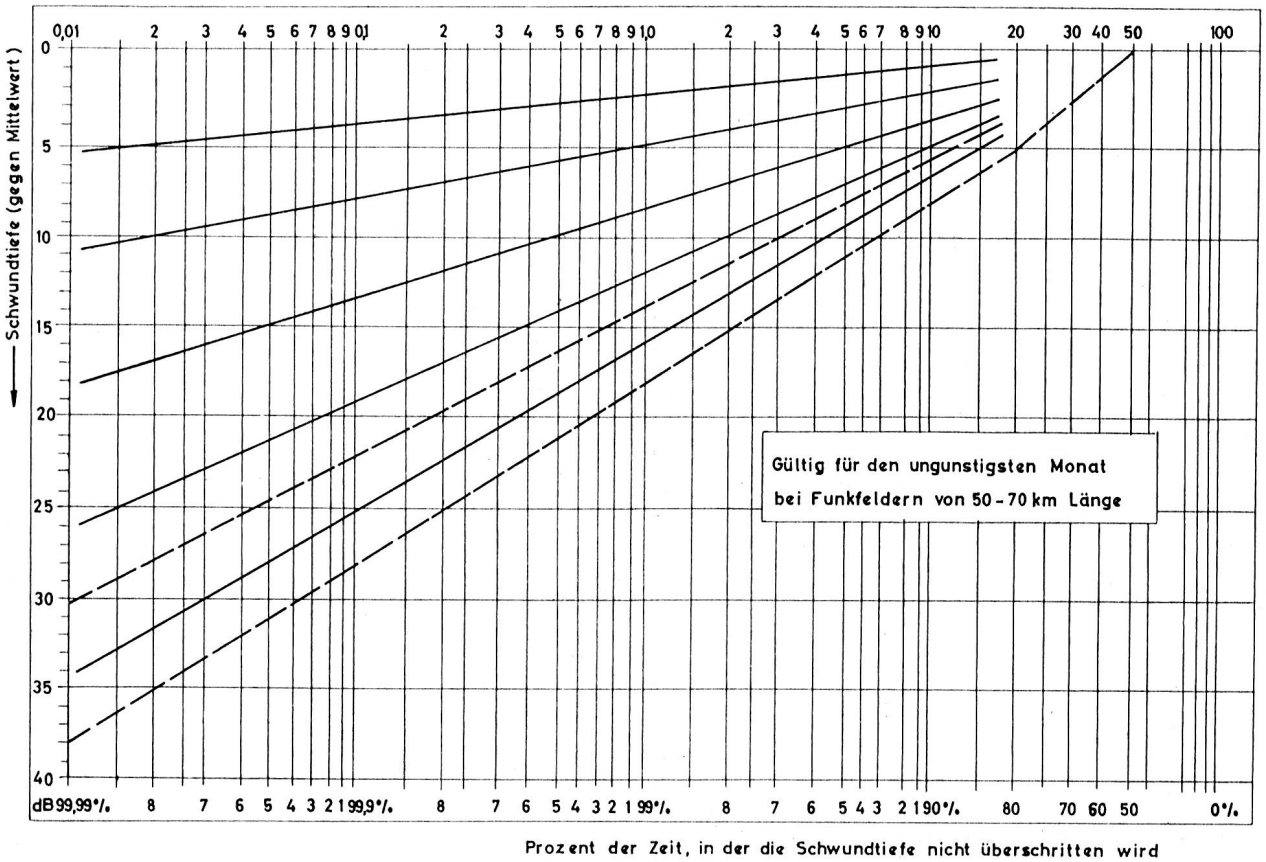


Bild 4: Schwundverteilungskurven nach Bullington

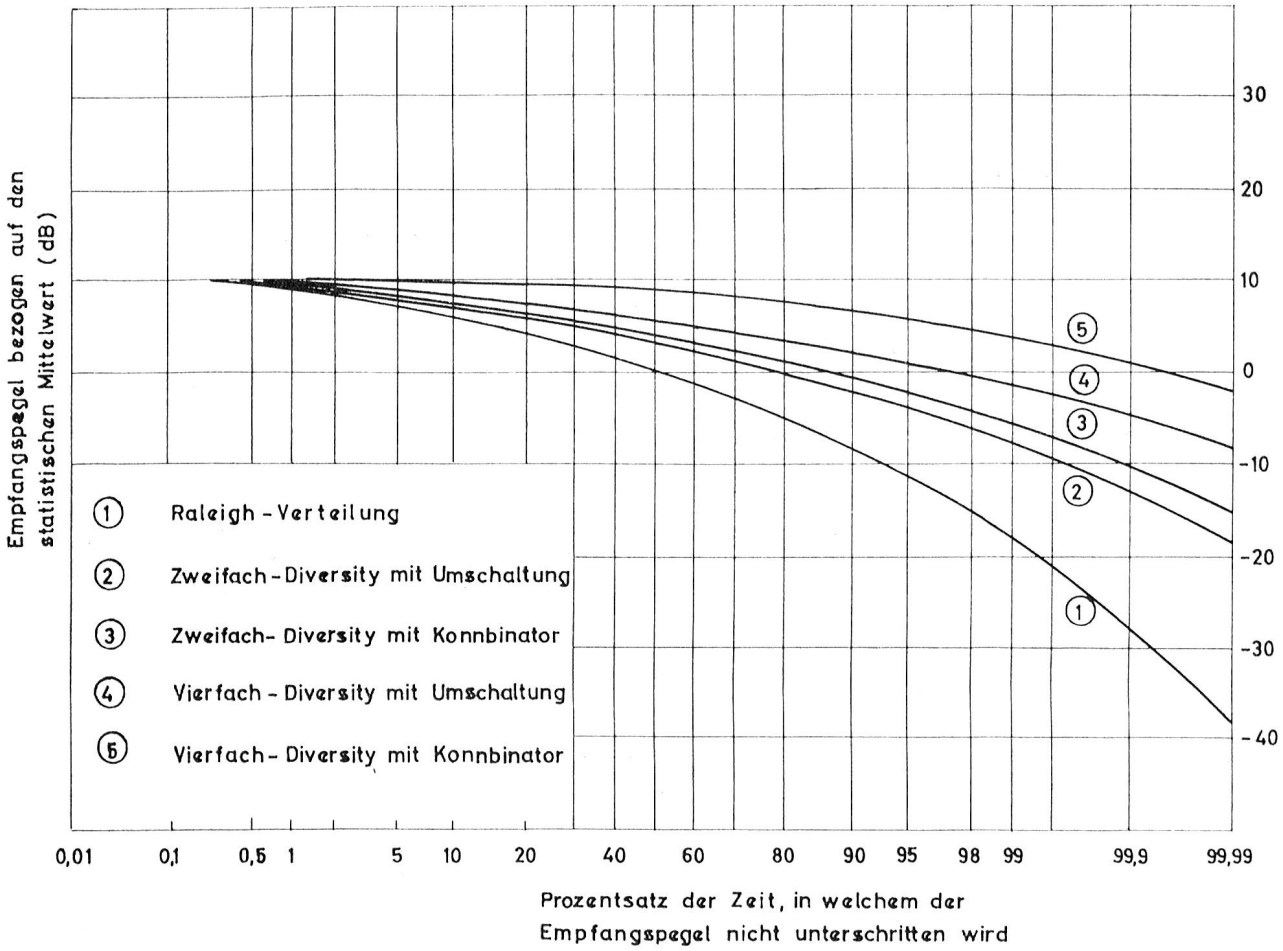


Bild 5: Empfangspegel in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Diversity-Arten

genannten Erscheinungen, die also infolge Mehrfachempfang durch Reflexionen autreten, nennt man Interferenzschwund.
Eine andere Art der Schwundes ist der Langzeitschwund, der z. B. durch ausgedehnte Bodennebelfelder oder durch Inversionsschichten verursacht wird. Hierbei kann der Strahl teilweise aus seiner normalen Richtung abgelenkt werden, so dass hierdurch eine Schwächung der Empfangsenergie verursacht wird. Diese Erscheinungen sind im Gegensatz zum Interferenzschwund von längerer Dauer, oft über Stunden oder Tage, während der Interferenzschwund innerhalb von Bruchteilen von Sekunden abläuft. Eine Absorption durch Regen oder Wasserdampf braucht bei den in Betracht stehenden Frequenzen nicht berücksichtigt zu werden, erst ab 10 GHz. Wohl aber tritt über Wasserflächen gelegentlich eine Führung des Funkstrahles zwischen zwei reflektierenden Schichten auf. Die eine Schicht kann eine Inversionsschicht sein, die andere die Wasserfläche, so dass der Strahl durch mehrfache Reflexion an den beiden Schichten völlig von der Antenne vorbeigelenkt wird. Hier handelt es sich bei den Mikrowellenfrequenzen allerdings meist nur um kurzzeitige Schwundeinbrüche, weil die Reflexion doch diffus ist.

3. Über die Zuverlässigkeit von Rf-Strecken

Um nun solche Erscheinungen nicht zu einer Unterbrechung der Funkkverbindung werden zu lassen, muss überlegt werden, was man dagegen tun kann, wenn man weiss, dass trotz aller Bemühungen keine idealen Funkfelder realisiert werden können. Das kommt öfters vor, weil z. B. gerade der Richtfunk für Verbindungen über Wasser besonders geeignet ist und auch für Verbindungen in ungünstigen geographischen Verhältnissen, so dass man oft Kompromisse hinsichtlich der Wahl des Funkfeldes eingehen muss.
Beim Kurzzeitschwund weiss man z. B., dass es sich um statische Vorgänge handelt, d. h. mittelt man über längere Zeit, z. B. über eine Stunde, so stellt man fast konstante Verhältnisse fest. Dazwischen liegen dann sehr kurze Einbrüche. Wie stark diese Einbrüche statistisch gesehen maximal sind, erkennt man an Bild 4. Zunächst geht man von der Annahme aus, dass in 50 % der Zeit Normalfunkfelddämpfung herrscht, d. h. diejenige Dämpfung vorliegt, die sich allein durch den Strahlungsverlust wegen der nicht idealen Bündelung der Antenne ergibt. Diese Voraussetzung ist nach der heutigen Erfah-

rung bei Freiheit der ersten Fresnelzone gut erfüllt. Nun kann man ablesen, in welchem Prozentsatz der Zeit eine bestimmte Schwundtiefe nicht überschritten wird, wobei an sich extrem geringere Zeiten angegeben sind. Man bedenke jedoch, dass bei 24-stündigem Dauerbetrieb, was wohl für alle Weitverkehrs-Nachrichtenverbindungen zutrifft, 1 % der Zeit eines Monats immerhin 7,2 Stunden sind und selbst 0,01 % der Zeit sind noch 4,2 Minuten. Diese Zeiten liegen allerdings, soweit es hier um Kurzzeitschwund geht, in keinem Fall an einem Stück, sondern zerfallen in eine sehr grosse Anzahl von Kurzzeit-Fadings in statistischer Verteilung. Je nachdem, welche Übertragungszuverlässigkeiten angestrebt sind, muss man also bei Funkfeldern mit Mehrwegeausbreitung maximal mit Tiefen bis zu 20 dB (bei 99 %) und 30 dB (bei 99 % der Zeit) rechnen. Dies gilt, wie gesagt, nur bei Funkfeldern mit starker Mehrwegeausbreitung. Sind die Funkfelder im obigen Sinne gut geplant, so gelten wesentlich günstigere Zahlen, nämlich etwa 0,1 % = 10 dB 0,01 db = 15 dB 0,001 % = 22 dB für Kurzzeitschwund. Muss aber mit den grösseren Zahlen gerechnet werden auf Grund der Eigenschaften des Funkfeldes, so kann man durch entsprechenden apparativen Aufwand die Auswirkungen des Kurzzeitschwundes verkleinern und zwar durch das Diversity-Prinzip (Bild 5). Man sieht wieder als unterste Kurve die Raleigh-Verteilung, die bei 50 % der Zeit wieder den Normal-Mittelwert zeigt. Durch planmässig installierten Zweifach-Empfang über zwei Antennen oder über zwei verschiedene Frequenzen kann man aus der Not eine Tugend machen und die zwei Empfangsspannungen, die über zwei verschiedene Wege kommen, zu einem Signal kombinieren und gewinnt, je nach der angewandten Technik, 15 bis 20 dB gegenüber der Raleigh-Verteilung und kann dies bei vollem Aufbau bis zu 4-fach-Diversity bis zur Normalfunkfelddämpfung hochbringen. Allerdings gehört hierzu ein ziemlicher Aufwand und auch die Installation und Bedienung solcher Anlagen ist nicht einfach. Solche Diversity-Schaltungen sind aber an vielen Stellen im Bereich der kommerziellen Richtfunktechnik in Betrieb, vor allem natürlich bei Strecken über See.

Im militärischen Bereich wurden solche Schaltungen bisher wohl vermieden, insbesondere im mobilen Einsatz ist die Diversity nur unter bestimmten Voraussetzungen zu empfehlen. Allerdings sind Diversity-Schaltungen auf jeden Fall in Scattertechnik unumgänglich, d. h. für Nachrichtenverbindungen mit Überreichweiten.

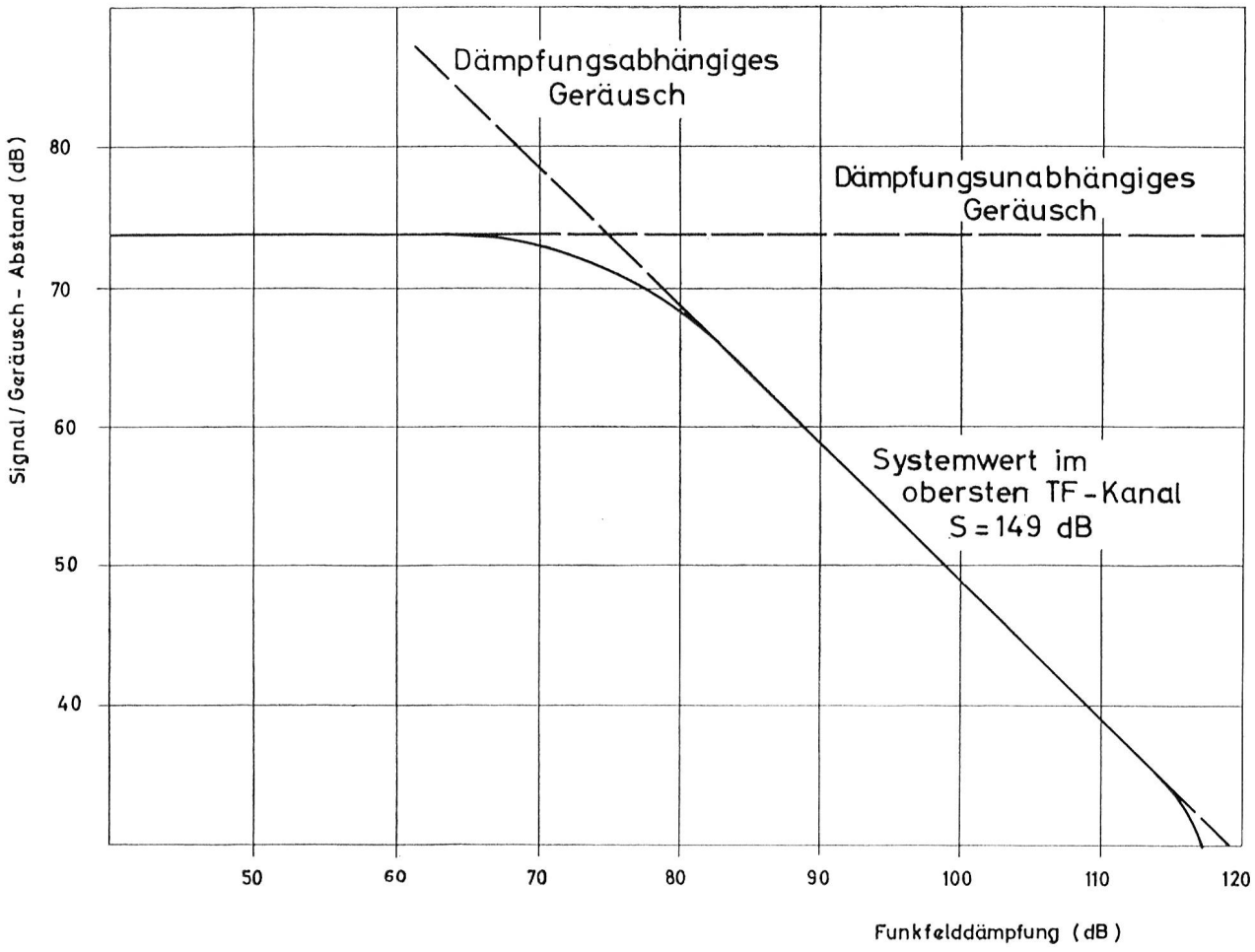


Bild 6: Systemwertkurse RV FM 120/5000

Die Massnahme des Diversity-Empfanges hat, wie gesagt, nur Sinn bei statistischen Schwunderscheinungen, wie sie in der Natur des Kurzzeitschwundes liegen. Bei Langzeitschwund, in dem also keine Mehrwegeausbreitung stattfindet, kann man nur durch höhere Sendeleistung oder höhere Empfänger-Empfindlichkeit etwas machen (Bild 6) und insbesondere ist hier der Regelumfang des Empfängers von entscheidender Bedeutung. Ohne hier auf die genaue Definition des Systemwertes eines Richtfunksystems einzugehen, sieht man im Prinzip folgendes:

Der Signal-Geräusch-Abstand eines Funkfeldes, bestehend z. B. aus Geräten FM 120/5000, verläuft, von 80 dB Funkfelddämpfung ausgehend, mit zunehmender Funkfelddämpfung geradlinig, d. h. die Kurve ist im Bild um 45° geneigt. Lediglich bei der Funkfelddämpfung von etwa 115 db biegt die Kurve von der Geraden ab. Und dies ist das typische Kennzeichen frequenzmodulierter Geräte mit grossem Regelumfang. Es besagt nämlich, dass die sogenannte FM-Schwelle bei einem Wert von etwa 115 dB liegt und bis dahin bleibt, unabhängig von der vorliegenden Streckendämpfung, das Klirrgeräusch der Anlage erhalten. Lediglich das thermische Rauschen ändert sich streng proportional mit der Funkfelddämpfung. Man erreicht diese Geradlinigkeit bis zur FM-Schwelle dadurch, dass der Begrenzer vor dem Demodulator bis praktisch zur FM-Schwelle voll ausgesteuert ist und damit alle Störungen, die i. a. amplitudenmouliert sind, abgeschnitten werden. Damit bleibt das Klirrgeräusch konstant.

Ausserhalb der FM-Schwelle, wenn also der Begrenzer nicht mehr angesteuert wird, demoduliert der Demodulator ausser dem FM-Signal auch noch die Amplituden des Störsignals und damit hat die FM-Übertragung ein Ende. Je weiter nun die FM-Schwelle von der Normalfunkfelddämpfung wegliegt, um so grössere Langzeit-Fadings können aufgefangen werden. Ist z. B. bei der Anlage FM 120/5000 das Normalfunkfeld 68 dB, so beträgt der Abstand bis zur Schwelle über 45 dB. Man nennt diese Differenz Fading-Margin und hat damit eine Qualitätsaussage über das System. Man kann aus dieser Zahl dann auf Grund der Bullington-Kurven sogar für Langzeit- und Kurzzeitschwund eine Übertragungs-Zuverlässigkeit theoretisch berechnen und kommt damit vom System her zu extrem kurzen Unterbrechungszeiten, die in der Grössenordnung von 0,002 % der Zeit liegen.

Zum Abschluss des Kapitels über Planung von Richtfunknetzen sei erwähnt, dass zur Planung solcher Strecken, wie man sieht, eine ganze Menge Erfahrung gehört. Wohl sind die Reserven der Geräte so gross, dass es meist trotzdem geht, auch wenn Fehler gemacht werden. Je hochwertiger die Netze jedoch sind und die Anforderungen gestellt werden, um so wichtiger ist die optimale Ausnutzung aller Geräte und Funkfeldeigenschaften.

Im postalischen Verkehr, wo jede Ausfallminute Geld kostet, wo viele Stunden am Tage Vollbelegung vorliegt und wo sehr lange Verbindungen geschaltet werden, ist die sorgfältigste Planung jedes einzelnen Funkfeldes von entscheidender Bedeutung, denn das schlechteste Funkfeld bestimmt die Qualität einer Richtfunkstrecke. Im militärischen Bereich mag man manchmal dazu neigen, insbesondere bei den kleineren Geräten FM 12/800, über eine «Hörprobe» die Qualität der Strecke zu beurteilen, wobei aber die Empfindlichkeit des Ohres völlig unbrauchbar als Messgerät ist, denn, wenn das Funkfeld einen planmässigen Signal-Geräuschabstand von 70 dB haben soll, dann besagt es gar nichts, ob man mit dem Ohr ein Geräusch hört oder nicht, denn man hört überhaupt erst die Andeutung eines Rauschens bei einem Störabstand von bestenfalls 20 dB. Sollte man aber mehrere solcher Strekken zusammenschalten, die «noch gut verständlich sind», dann geht es plötzlich nicht mehr, weil alle Strecken so hart an der Schwelle liegen, z. B. infolge Hindernisdämpfung, dass alle Augenblicke eine ausfällt und damit die Strecke unterbrochen wird. Will man also solche Fehler vermeiden, so ist eine gute Schulung des Bedienungspersonals unerlässlich. Die Geräte jedenfalls, die heutzutage an das Militär geliefert werden, erlauben den Aufbau von Richtfunkverbindungen höchster Qualität. An diesen liegt es nicht, wenn sie gut gewartet sind und die Strecken — siehe oben — richtig geplant sind.

C. Netzplanung

1. Allgemeine Gesichtspunkte

Für den Aufbau von Nachrichtennetzen sind verschiedene Gesichtspunkte zu beachten. Nicht allein der Bedarf an Sprechkanälen ist entscheidend, sondern gerade für militärische Einsätze die Frage nach der strategischen Sicherheit ist von Bedeutung. Hat man z. B. ein Liniennetz, so ist dieses natürlich sowohl planungsmässig als auch betriebsmässig gesehen am einfachsten, weil es am übersichtlichsten ist. Man muss allerdings dabei achten, dass es bei Ausfall einer Station dazwischen — etwa durch Feindeinwirkung — keine Möglichkeit der Verständigung mehr gibt. Auch ist diese Linie streng genommen nicht mobil — auch wenn sie in Wagen steht — weil während des Stellungswechsels die Verbindung von Anfang zum Ende unterbrochen wird.

Als weitere Möglichkeit kommt das Sternnetz in Betracht. Dieses hat betriebliche Vorteile, weil der Zentralstation die Funktion der führenden Station zukommt, von der aus alle Sternstationen leicht kontrolliert werden können. Die Zentralstation wäre in diesem Falle auch die Reparaturzentrale, in der alle notwendigen Geräte für Messung und Reparatur vorhanden sein können. Aber auch hierfür gilt hinsichtlich der Sicherheit das obengesagte: Bei Ausfall der Zentralstation sind alle Verbindungen unterbrochen. Dieses Netz ist allerdings insoweit mobil, als jede der Sternstellen ihre Lage verändern kann, ohne die anderen Verbindungen zu stören.

Am günstigsten ist in jedem Falle der geschlossene Ring oder das Gitternetz. Bei Ausfall jeder beliebigen Station können alle übrigen aus der anderen Seite des Ringes angesprochen werden und dasselbe gilt auch für Stellungswechsel. Solange eine Station im Umbau ist, sind alle anderen voll betriebsfähig und können nach Bedarf zu jeder anderen über eine stets vorhandene Verbindung geschaltet werden. Dieses Ringnetz erfüllt das Sicherheitsbedürfnis jedes militärischen — also auch der mobilen Netze. Allerdings ist es auch das Aufwendigste gegenüber allen anderen. Wegen der erhöhten Sicherheit dieser Netzart wird man jedoch trotzdem dieses Netz vorziehen und auch die Postverwaltungen tun das ja auch seit längerer Zeit, wenigstens soweit nicht entsprechen-

de Parallellinien auf Koaxialkabel für den Notfall verfügbar sind.
Des weiteren sind beim Aufbau eines Netzes noch folgende Gedanken wichtig, nämlich die Stationierung der einzelnen Geräte. Die Richtfunkgeräte müssen im allgemeinen an erhöhten Punkten stehen, um eine entsprechende Reichweite ohne Hindernisse zu erhalten. Soweit also Berge oder sonstige Erhöhungen verfügbar sind, wird man diese benutzen. Hierbei ergeben sich natürlich u. U. Transportprobleme, denn nicht immer sind diese Erhebungen ohne weiteres zu erreichen. Auf jeden Fall ist es aber nicht notwendig, auch noch die TF-Geräte in die Nähe der RF-Anlagen zu bringen. Die TF-Anlagen sind meist — wenigstens soweit man bis zu den Einzelkanälen demoduliert — apparativ ein grosses Volumen, bei dem man den Transport so einfach wie möglich gestalten soll. Es ist aber zweckmässig, die RF- und TF-Geräte bei mobilen Anlagen getrennt unterzubringen und die Entfernung zwischen TF- und RF-Geräte nötigenfalls über Feldfernkabel zu überbrücken. Dann kann man die TF-Geräte an einem leicht zugänglichen Punkt stehen lassen und nur das Richtfunkfahrzeug bzw. ein Shelter muss auf die Höhe gebracht werden. In dem neuen Gerät FM 120/5000 wurde diese Aufteilung aus den genanten Gründen vorgenommen. Die RF-Geräte befinden sich in einem leicht beweglichen 1,5 t Unimog, ebenso der Antennenmast. In den Anhängern (Zweirad) zu diesen beiden Fahrzeugen befinden sich die Antennen und die Stromversorgungsaggregate. Davon getrennt sind in einem schweren Fahrzeug die TF-Geräte V 120 T und VZ 12 T. Dass für den Aufbau von mobilen Netzen insbesondere im militärischen Sektor der schnelle Aufbau der Strecken, die leichte Bedienbarkeit der Geräte sowie die Herausnehmbarkeit aus den Wagen oder Sheltern wichtig ist, versteht sich am Rande und braucht hier nicht besonders betont zu werden, zumal dann im Einsatz hieran ohnehin nichts mehr verbessert werden kann. Man muss dann die Anlagen nehmen wie sie sind, d. h. alles, was hier getan werden kann, muss bereits bei der Planung des Gerätes und der Wagen getan werden.

2. Über die Tarnung von RF-Anlagen

Es ist noch im Zusammenhang mit der Netzplanung die Frage der Tarnung und der Abhörbarkeit zu erwähnen. Zur Tarnung der Antennen gibt es nicht viele Möglichkeiten. Die Antennen aus einem metallischen Netzwerk herzustellen, bringt wenig, weil die Dichte der Maschen wegen der hohen Frequenz recht eng sein muss und man hat bei Gitterparabolen den Nachteil, dass im Winter diese Antennen besonders stark zum Eisbehang neigen. Im Grunde gibt es kaum mehr als einen Tarnanstrich und man kann im Aufbau bestenfalls so verfahren, dass man die Antennen so wenig wie möglich über die Baumzipfel ragen lässt oder eventuell unmittelbar vor den Baumwipfeln aufstellt, damit sie sich möglichst wenig abheben. Bei Aufstellung in Schneisen ist — wie oben erwähnt — bereits Vorsicht am Platze, um nicht eine Störung der Übertragung zu verursachen.

3. Über die Abhörbarkeit

Etwas klarer, wenigstens qualitativ, ist die Frage der Abhörbarkeit zu beantworten. Wegen des scharfen Richtdiagrammes der Antennen müsste jemand, der die RF-Strecke abhören wollte, sich um halbwegs vernünftige Verständlichkeit zu erhalten, innerhalb eines relativ geringen Winkels aufstellen, um vom Richtstrahl überhaupt erreicht zu werden. Geschieht dies aber, so gilt hinsichtlich seiner Tarnung dasselbe wie oben, auch diese Abhör-Antenne kann nicht sehr gut getarnt werden. Setzt man sich aber in Deckung, so ist die Empfangsfeldstärke so gering, dass ein hoher apparativer Aufwand notwendig ist und überdies muss der Punkt brauchbaren Empfanges i. a. erst experimentell gesucht werden, da jetzt die oben erwähnten Gesetze der quasioptischen Ausbreitung in direkter Sicht nicht mehr gelten. Nach dem ersten Stellungs- oder Frequenzwechsel sind die Verhältnisse wieder anders und die Suche nach einem geeigneten Standpunkt gilt von neuem. Hat man schliesslich den Gegner erfasst, muss ermittelt werden, wie innerhalb der FM die NF-Kanäle liegen und welche dieser Kanäle sich abzuhören lohnt. Die Möglichkeiten der Abhörbarkeit sind also in der Praxis sehr beschränkt und es ist bis heute nichts darüber bekannt geworden, dass z. B. die Scatter-Verbindung von Berlin nach Westdeutschland, die seit über 8 Jahren besteht, stationär ist und mit stets den gleichen Frequenzen arbeitet, jemals abgehört worden ist

D. Gerätetechnik

1. Militärische RF-Geräte

Im folgenden wird nun eine kurze Übersicht über militärische Geräte gegeben, die sich (insbesondere natürlich in Deutschland) in Betrieb befinden oder in einem weit fortgeschrittenen Entwicklungsstadium sind.

FM12/800
Dieses Gerät ist in seinem Konzept mehrere Jahre alt, es befindet sich mit mehreren tausend Stück im Einsatz und ist daher ein bewährtes Gerät für 12 Gesprächskanäle im 610—960 MHz-Band.

FM 200
Dieses Gerät ist ein völliges Neukonzept, dessen Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Auch dieses Gerät entsteht in paritätischer Gemeinschaftsarbeit zwischen SuH und TFK. Es soll einerseits die Nachfolge in moderner Technik der FM 12/800 antreten und überdies den Frequenzbereich 220 bis 480 MHz zusätzlich erschliessen. Es ist wesentlich kleiner, weitestgehend transistorisiert, kann an den tatsächlichen Betrieb (4, 12, 24, PCM) optimal durch Umschaltung angepasst werden. Zusätzlicher Dienstkanal und hohe Frequenzstabilität durch Verwendung von Frequenz-Synthesizer. Das Grundgerät mit dem Verstärkerteil umfasst Frequenzen bis 480 MHz, das ganze Gerät mit beiden Frequenzbereichen 225—480 MHz und 610 bis 960 MHz. Im Oberbereich ist das Gerät selbstverständlich mit der FM 12/800 kompatibel.

FM 120/5000
Dieses 120-Kanalgerät ist eine Neuentwicklung, die unter unserer Federführung, jedoch auch wieder unter Beteiligung von SuH und zusätzlich SEL erfolgte. Von diesem Gerät wur-

den in der Zwischenzeit an die 100 Anlagen mit voller Reserve und Umschaltung ausgeliefert. Dieses Gerät zeichnet sich durch Massnahmen für extrem hohe Zuverlässigkeit aus, indem in den meisten Einsatzfällen eine (identische) Vollreserve mit automatischer Schnell-Umschaltung verwendet wird. Die Umschaltzeit beträgt nur etwa 100 µsec und ist daher auch telegraphiefest. Mit Rücksicht auf die Zuverlässigkeit wurde die Anlage auch mit einer automatisch fast unterbrechungsfreien Batterieumschaltung ausgerüstet, so dass bei Ausfall des Netzes oder der Dieselaggregate der Betrieb ohne Unterbrechung in der Übertragung für mehrere Stunden weitergeführt werden kann.
Besonders bemerkenswert ist noch die dekadisch einstellbare Quarzfrequenz im zweiten Koffer von oben mit einer reinen (dekadischen) Kanalnummer, getrennt für Sender und Empfänger, so dass im Betrieb eine absolut zuverlässige, irrtumsfreie Frequenzumschaltung erfolgen kann. Legt man das Reservegerät befehlsgemäss auf eine andere Frequenz und schaltet durch Handauslösung am Umschaltkoffer um, so kann der Frequenzwechsel sogar ohne Unterbrechung des Betriebes erfolgen.

2. Militärische TF-Geräte

VZ 4/12

Dieses Gerät ist, wie alle vorher gezeigten Geräte, ebenfalls in dem Normkoffer der Grösse II untergebracht und kann damit als TF-System einem Richtfunkgerät der o. g. Bauart in den gleichen Spannrahmen oder Aufbauten zugeordnet werden. Der Inhalt des gezeigten Koffers ist für die TF-Modulation von 4 Kanälen ausgelegt und zwar sowohl für Vierdraht- als auch für Zweidraht-Betrieb. Für den Einsatz ist dieses Gerät insofern besonders interessant, als es wahlweise für Erd- und Luftkabel, Freileitungen oder Funkverbindungen eingesetzt werden kann und überdies kann dieses System auf 12 Kanäle mit 2 Koffern (V-Betrieb) und 24 Kanäle erweitert werden.

VZ 12/T

Zu der oben gezeigten Richtfunkanlage FM 120/5000 gehören nun spezielle TF-Systeme, für die Modulation dieses Richtfunksystemes mit 120 Kanälen, die wieder aus 12er-Gruppen oder weniger aufgebaut sind. Der Systemkoffer enthält die Gruppenumsetzer, Sende-Empfangsverstärker, Überwachungseinrichtungen und Richtungsweichen. Dieses System ist eine Gemeinschaftsarbeit der 3 deutschen Firmen, ist in grossen Stückzahlen bereits geliefert und kann sowohl auf Richtfunkstrecken im 4-Draht-Betrieb, auf postalische Kabel, Feldfernkabel oder Freileitungen aufgeschaltet werden. Dieses System kann alle TF-Frequenzbereiche, soweit sie im Nato-Bereich und in den postalischen Netzen Verwendung finden, übertragen und ist daher auch für die Zusammenarbeit mit Geräten anderer Verteidigungsstreitkräfte innerhalb der Nato geeignet.
Zwei solcher Gerätesätze ergeben eine Endstelle für 24 Kanäle und zweimal der rechte Teil (Systemkoffer, Leitungskoffer und SmV-Koffer) ergeben eine Zwischenstelle für die Überbrückung grösserer Entfernungen.

WT-FM 240

Das Wechselstrom-Telegrafie-Gerät ist ebenfalls u. a. für militärischen Einsatz gedacht und wurde auch schon in Stückzahlen geliefert. Das Gerät erlaubt Schreibgeschwindigkeiten bis zu 100 Baud und ist ebenfalls auf der Teilnehmer- und der Fernleitungsseite für mehrere Betriebsarten umschaltbar. Jeder in sich selbständige Koffer ist für 4 WT-Kanäle ausgerüstet. Schaltet man 2 weitere Koffer entsprechend um, so kann man 3 Koffer derselben Ausführung parallel schalten und erhält so die kompletten Einrichtungen für 12 WT-Kanäle, die mit je 100 Baud auf ein Sprachband von 300 bis 3400 Hz aufgeschaltet werden können.

WT-FM-E 1

Es besteht oft — gerade bei militärischen Netzen — das Bedürfnis, nur einen WT-Kanal parallel zu einem NF-Kanal zu schalten und dann ist die Benutzung eines vollen NF-Kanales sehr unwirtschaftlich. Mit dem Einlagerungs-Telegrafiegerät kann man gleichzeitig auf einem besprochenen NF-Kanal zusätzlich ein Telegrafiekanal übertragen, und zwar wird hier etwa in der Mitte des Sprachbandes eine hinreichend grosse Lücke ausgespart und in diese Lücke der Telegrafiekanal gelegt. Bei dieser Technik wird also das Sprachband oben nicht beschnitten und überdies brauchen an den Übertragungsweg keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Übertragungsqualität im oberen Frequenzbereich gestellt werden. Damit kann das Gerät auch an qualitativ weniger hochwertige Übertragungswege — z. B. Funkgeräte einfacher Bauart — angeschlossen werden.

3. Militärische Vermittlungseinrichtungen

Zur Vervollständigung eines militärischen Programmes für die Weitverkehrsübertragung gehören nun auch noch Vermittlungseinrichtungen für den militärischen Einsatz. Die Koppelfelder werden ausnahmslos durch den schnellschaltenden OHS gebildet, während die Steuerung vollelektronisch erfolgt. In Bild 19 sieht man das Prinzipschaltbild. Ts — Teilnehmerschaltung, LKF — Leitungskoppelfeld, SKF — Suchkoppelfeld, ES — Einstellfeld, VS — Verbindungssatz. Jeder Koffer

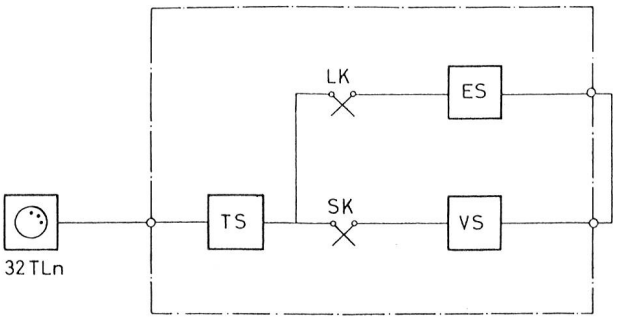


Bild 19: Feldwählvermittlung für 32 Teilnehmer oder Leitungen

für 32 Teilnehmer enthält 7 elektronisch gesteuerte Verbindungssätze, von denen 6 automatisch durchgeschaltet werden, während der 7. dem Aufsichtsplatz zugeordnet ist, der dann entscheiden kann, ob und in welcher Form die 7. Verbindung hergestellt wird, wenn alle anderen 6 Verbindungen voll sind. Durch besondere Massnahmen in der TS können normal berechtigte und bevorrechtigte Teilnehmer festgelegt werden. Sind 5 Verbindungssätze belegt, erfolgt für die Teilnehmer hörbar ein Warnton, bei 6 Belegungen ein doppelter Hinweiston, um die Teilnehmer auf die Vollbelegung der Zentrale aufmerksam zu machen und zur Beendigung der Gespräche zu veranlassen. Mit dem ersten Warnton tritt eine «Katastrophenschaltung» in Tätigkeit, die es dann nur noch bevorrechtigten Teilnehmern gestattet, eine Verbindung aufzubauen.
Mit 3 Koffern zu je 32 Teilnehmern und einem Richtungskoffer der Grösse V kann eine Zentrale für 96 Teilnehmer zusammengestellt werden. Hierfür ist natürlich dann auch nur ein Aufsichtsplatz vorgesehen. Es sind in diesem Falle 12 externe Leitungen vorhanden, die sowohl als gemeinsames Bündel betrieben oder auch mit je 4 Leitungen zu 3 Bündeln aufgeteilt werden. Bild 21 zeigt das Blockschaltbild für eine Endstelle für 96 Teilnehmer.

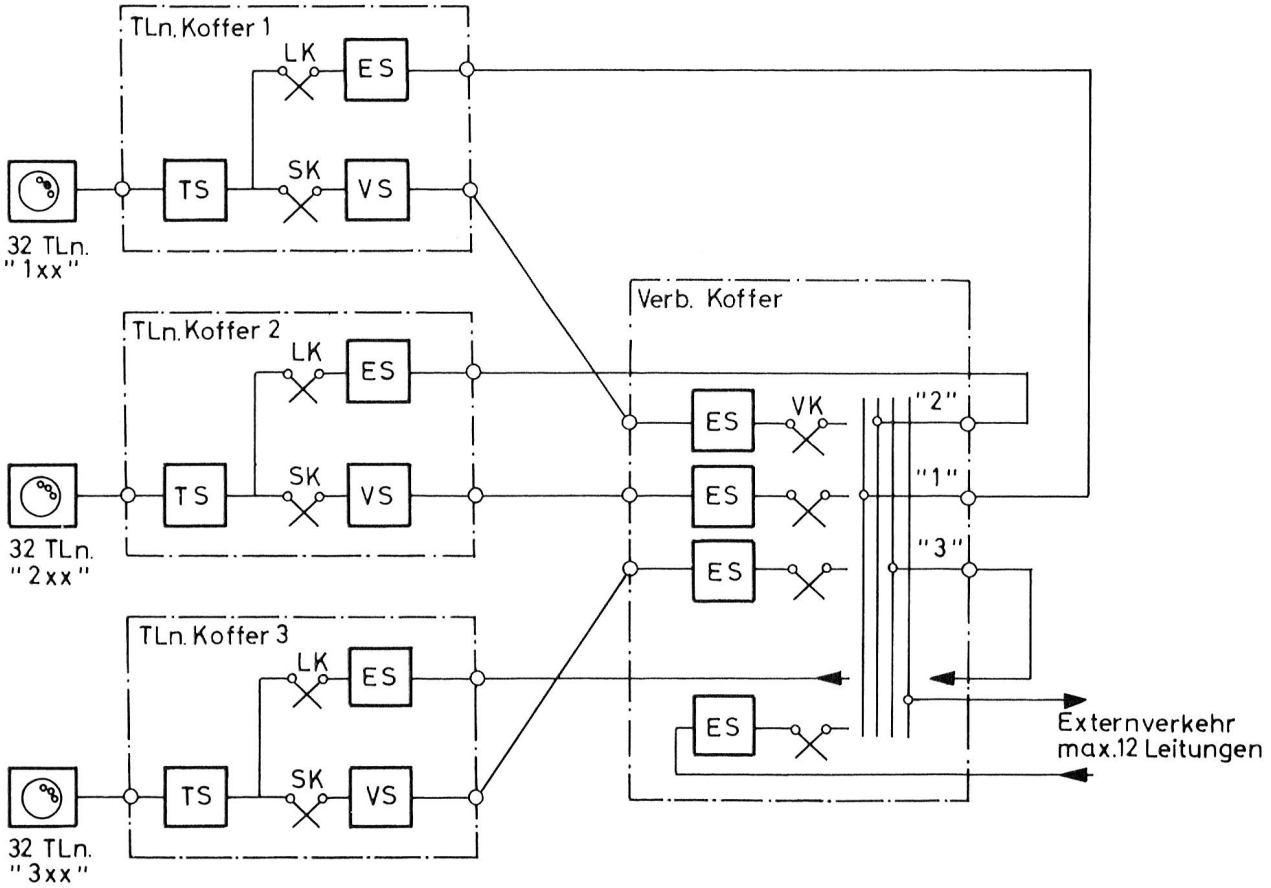


Bild 21: Feldwählvermittlung für 3×32 Teilnehmer und 12 Leitungen