

Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen
Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere
Band: 34 (1961)
Heft: 6

Artikel: Überhorizont-Richtfunkverbindungen
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-562502>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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

Überhorizont-Richtfunkverbindungen

Funkverbindungen mit Richtstrahlantennen sind bereits vor mehr als dreissig Jahren in der Kurzwellentechnik zur Verbesserung der Nachrichtenübermittlung nach Übersee benutzt worden. Die Bezeichnung Richtfunkverbindung hat sich jedoch für Systeme eingeführt, die mit Ultrakurz-, Dezimeter- und Zentimeterwellen arbeiten, bei denen eine sehr viel schärfere Bündelung der abgestrahlten Energie erreicht werden kann. Der Franzose nennt daher solche Systeme, für die scharfe Energiebündelung charakteristisch ist, sehr treffend «Faisceaux Hertiens» zur Erinnerung daran, dass Heinrich Hertz seine entscheidenden Versuche zum Beweise der Maxwell'schen Theorie mit stark gebündelten Zentimeterwellen ausgeführt hat.

Richtfunkverbindungen mit Ultrakurz- und Dezimeterwellen sind im letzten Jahrzehnt zu einem wesentlichen Mittel der Übertragung von Fernsehbildern oder vielen Ferngesprächen geworden. Alle Fernsehprogramme, die uns erreichen, werden dem Sender über Zentimeterwellen-Richtfunkleitungen zugeführt, und sehr viele Ferngespräche gehen heute denselben Weg und nicht mehr ausschliesslich über Kabel.

Eine der wichtigsten begrenzenden Eigenschaften aller elektromagnetischen Wellen, die kürzer als zehn Meter sind, ist ihre fast geradlinige Ausbreitung ähnlich der Ausbreitung des Lichtes. Damit ist im allgemeinen in erster Näherung ihre Reichweite auf die Sichtweite vom Aufstellungsort begrenzt. Hindernisse — dazu zählt auch die Erdkrümmung — verursachen starke Verluste, und vor etwa zehn Jahren war man der Annahme, dass die Verluste durch Hindernisse in der Ausbreitungsrichtung keine für den Empfang auswertbaren Energien im Schattengebiet zulassen. Marconi hat ja zwar schon im Jahre 1932 mit Ultrakurzwellen Beobachtungen gemacht, die dieser Vorstellung widersprachen. Aber erst vor einem Jahrzehnt entdeckte Kenneth Bullington mit empfindlichen Messeinrichtungen bei Ausbreitungsversuchen mit Ultrakurz- und Dezimeterwellen, dass hinter dem Horizont sehr viel stärkere Feldstärken vorhanden sind als der Theorie der Wellenbeugung an einer Kugel entspricht.

Die systematische Untersuchung dieser Erscheinungen blieb jedoch den Amerikanern vorbehalten. Es ergaben sich hinter dem Horizont oder hinter Hindernissen gegenüber der unbehinderten Wellenausbreitung Zusatzverluste von vier bis sechs Zehnerpotenzen, während nach der Beugungstheorie eine Erhöhung der Dämpfung um mehr als zehn Zehnerpotenzen zu erwarten war.

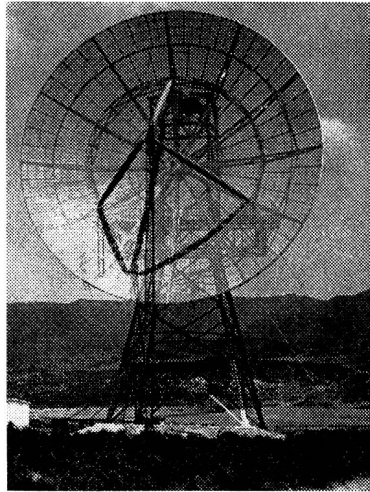


Bild 1: 20-m-Antenne der Verbindung Minorca-Sardinien

Abb. 3 zeigt an einem Beispiel diesen Unterschied (10 Dezibel, dB, entsprechen einem Anwachsen des Verlustes um eine Zehnerpotenz).

Nach der Beugungstheorie

hätte man die verfügbare Leistung eines Richtfunksystems auf mehr als das Milliardenfache steigern müssen, um hinter dem Horizont oder im Schatten von Hindernissen eine Nachricht empfangen zu können. Bullingtons Untersuchungen zeigten, dass eine millionenfache Leistungssteigerung genügt. Diese Leistungssteigerung liess sich technisch verwirklichen, da seit 1950 Senderöhren mit 10 kW Leistung und mehr auch für Ultrakurz- und Dezimeterwellen entwickelt worden waren. Das ergab einen Energiegewinn von etwa tausend gegenüber den üblichen Richtfunksystemen, die nur zwei bis fünf Watt brauchen, um Entfernungen innerhalb der Sichtweite zu überbrücken.

Mit diesem einen Schritt war die Frage jedoch noch nicht gelöst. Die verfügbare Energie musste nochmals um den Faktor Tausend erhöht werden, um ein hinter dem Horizont auswertbares

Signal zu erhalten. Der einzige Weg dazu war damals eine weitere Steigerung der Energiebündelung durch die Antennen. Hatte man bis dahin Richtantennen — meistens Parabolspiegel — mit einer Energiebündelung von tausend bis zweitausend in der Hauptstrahlrichtung und einer Breite des Strahlungsdiagramms von zwei bis drei Grad benutzt, so musste man zur Überwindung des Überhorizontverlustes Antennen mit mehr als zehntausendfacher Energiekonzentration verwenden. Bei einer Wellenlänge von 30 Zentimetern (Frequenz 1000 MHz) braucht man dazu Antennen von etwa 20 Metern Durchmesser (Abb. 1 und 2). Das Strahlungsdiagramm (Abb. 4) hat dann nur noch eine Breite von rund 1 Grad.

Bei Verwendung von kürzeren Wellen von etwa 15 oder 7 cm, entsprechend 2000 oder 4000 MHz kann man mit Antennen von 10 oder 6 m Durchmesser etwa dieselbe Bündelung erreichen. Die Anforderungen an die Genauigkeit und Stabilität der Antennen und Türme sind auch dann noch erheblich, besonders da die Antennenfläche bis auf weniger als einen Zentimeter eben sein und bleiben muss, selbst bei ungleichmässiger Erwärmung und bei Temperaturschwankungen von mehr als 100 Grad Celsius.

Mit dem geschilderten erheblichen Aufwand an Sendeleistung und Antennen — besonders die Antennen sind wegen der erforderlichen grossen Genauigkeit und Stabilität sehr schwierige und kostspielige Ingenieurbauten — gelang es tatsächlich, betriebssichere Verbindungen mit Dezimeterwellen über Entfernungen von 200 bis 300 Kilome-



*Zeitschrift für Verbindung und Übermittlung.
Redaktion: Erwin Schöni, Nordsüdstrasse 167,
Zuchwil, Telefon (065) 223 14. Postcheck-
konto VIII 15 666. Druck und Administration:
Fabag, Fachschriftenverlag und Buchdruckerei
AG, Zürich, Telefon (051) 23 77 44.*

34. Jahrgang Nr. 6 Zürich, im Juni 1961



Abb. 2: 20-m-Parabolantenne bei Guanabo auf Kuba

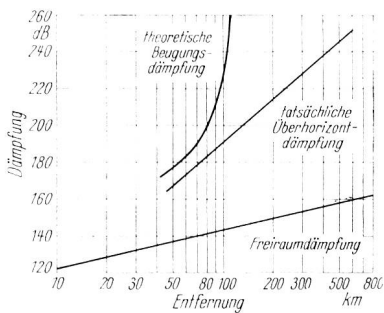


Abb. 3: Freiraumausbreitung, Bezugsdämpfung und Überhorizontverlust

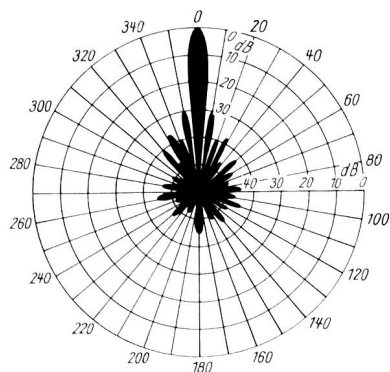


Abb. 4: Strahlungsdiagramm einer Überhorizont-Richtantenne

tern zu erreichen, ohne Sicht zwischen den Stationen zu haben. Es konnten also gegenüber der «Sicht»-Verbindung mit

kleiner Leistung drei bis fünf Stationen eingespart werden. In einem verkehrsmässig gut erschlossenen Land bringt das keine Kostenersparnis, ist aber von Bedeutung in unzugänglichen Polar- oder Wüstengebieten oder für Verbindungen über Wasser.

Angewendet und vervollkommenet wurde die neue Technik daher zuerst von den

militärischen Dienststellen der USA

beim Bau des Nachrichten- und Radar-netzes von Neufundland durch den Norden Kanadas bis nach Alaska. In Europa ist ein ähnliches Netz im Bau, das sich vom Nordkap über Mitteleuropa und das Mittelmeer bis nach Kleinasien erstreckt. Alle diese Verbindungen sind zur gleichzeitigen Übertragung von vierundzwanzig bis sechzig Ferngesprächen geeignet. Die guten Erfolge der militärischen Überhorizontverbindungen legten die Verwendung solcher Systeme für zivile Zwecke nahe, wo Wasser, Wüste oder andere Gründe den Einsatz anderer Nachrichtennittel unwirtschaftlich oder unmöglich machen. Die ersten derartigen Verbindungen wurden von der International Telephone and

Telegraph Company eingerichtet, zu der in der Schweiz die Standard Telephon und Radio AG, Zürich, gehört. 1957 wurde eine fast 300 km lange Fernseh- und Fernsprechverbindung mit 10 kW Sendeleistung zwischen Florida und Kuba in Betrieb genommen. Im gleichen Jahr begann mit 1 kW der Verkehr über eine 385 km lange 36-Kanallinie zwischen Sardinien und Minorca. 1959 folgte eine 300-km-Verbindung zwischen Miami, Florida und Nassau, Bahama-Inseln.

Ausser den erwähnten Verbindungen ist eine grössere Anzahl kleinerer, teils fester, teils beweglicher Anlagen in allen Teilen der Welt in Betrieb genommen worden.

Sehr bemerkenswert ist bei dieser schnellen Entwicklung, dass die Technik der Überhorizontverbindungen ohne den Rückhalt einer gesicherten Theorie über den Ausbreitungsmechanismus entstanden ist und auch bis heute keine der vielen theoretischen Untersuchungen eine verbindliche Vorstellung des Ausbreitungsvorganges ergeben hat.

Sicher ist nur, dass die untere Atmosphäre oder Troposphäre mit Luft und Feuchtigkeit einen

entscheidenden Anteil an der Überhorizontausbreitung

von Ultrakurz- und Dezimeterwellen hat und dass die Vernachlässigung der Troposphäre bei Anwendung der reinen Beugungstheorie früher zu falschen Schlüssen geführt hat. Zur Erklärung des Troposphäreneinflusses wurde ursprünglich die Vorstellung von einem streuenden Luftvolumen entwickelt, das von der Durchdringung der beiden Antennendiagramme gebildet wird (Abb. 5). Man spricht daher noch vielfach von der «Streuausbreitung», anglo-amerikanisch «Scatter Propagation» genannt. Für die Planung von Übertragungssystemen sind die Erklärungsversuche nur von untergeordneter Bedeutung, da die Erfahrung gezeigt hat, dass es einige wenige empirische Regeln gibt, die es erlauben, den Ausbreitungsverlust einer gegebenen Strecke fast immer mit hinreichender Genauigkeit vorher-zubestimmen. So unbefriedigend das

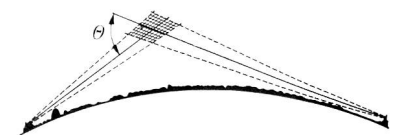


Abb. 5: Profil einer Überhorizontverbindung

auch vom wissenschaftlichen Standpunkt aus sein mag, zu ernsthaften Misserfolgen hat das Verfahren bisher nicht geführt.

Man teilt zur Abschätzung den Ausbreitungsverlust mehr oder minder willkürlich in mehrere Komponenten auf: So den Freiraumverlust, der einer ungehinderten Ausbreitung über die vorgegebene Entfernung entspricht. Sein Wert ergibt sich eindeutig aus der Theorie der Wellenausbreitung. Ein weiterer Beitrag ist der zusätzliche Überhorizontverlust, den man durch eine Vielzahl von Messungen experimentell hinsichtlich seiner Abhängigkeit von Entfernung, Frequenz und Luftfeuchtigkeit ermittelt hat. Er wächst um den Faktor 60 bis 70 bei Verdopplung der Entfernung, um den Faktor zwei bei Verdopplung der Frequenz. In kalten trockenen Gegenden ist er grösser und in den Tropen geringer als in der gemässigten Zone. Darüber hinaus muss der Schwund berücksichtigt werden, der in den meisten Fällen nur 0,1% der Zeit, also etwa acht bis zehn Stunden eines Jahres, den Ausbreitungsverlust nochmals um mehr als den Faktor 200 bis 300 erhöht.

Wichtig ist, dass die Grösse des Überhorizontverlustes nicht allein von der Entfernung, sondern entscheidend vom jeweiligen Aufstellungsort der Antennen abhängt. Wenn durch erhöhte Aufstellung auf einem Berg die Sichtweite, also die Entfernung zum Horizont, vergrössert werden kann, so geht der Überhorizontverlust zurück. Ein System, das in der Ebene etwa 200 km Reichweite hat, kann daher bei geeigneter Aufstellung auch 400 km überbrücken. Wird jedoch die Sichtweite und damit der Radiohorizont durch Hindernisse begrenzt, so wird der Überhorizontverlust grösser als es der tatsächlichen Entfernung entspricht. Das ist unmittelbar einleuchtend, da bei zunehmender Erhöhung der Aufstellungsorte im Grenzfall aus der Überhorizontverbindung eine Strecke mit direkter Sicht zwischen den Endstellen wird.

Mit diesen Erfahrungsregeln und dem seit mehr als fünf Jahren gesammelten Zahlenmaterial ermittelt man, was für Geräte, Sendeleistungen und Antennengrössen bei einer vorgegebenen Strecke nötig sind, um die im Einzelfall gestellten Bedingungen für die Übertragungsgüte und die zeitliche Zuverlässigkeit zu erfüllen. Dabei stellt sich heraus, dass in

den meisten Fällen die verfügbare Leistung allein nicht genügt, um die gewünschte Zuverlässigkeit auch in Zeiten grösseren Schwundes zu erreichen. Man muss daher fast immer mit Mehrfachempfang arbeiten, um den Schwund einfluss auszugleichen. Da bei Überhorizontausbreitung unzweifelhaft mehrere unabhängige Wege beteiligt sind, zeigen Signale, die mit räumlich getrennten Antennen empfangen werden, keine zeitliche Gleichförmigkeit, sie sind im allgemeinen in Zeiten grösseren Schwundes in Phase und Amplitude nicht korreliert. Dasselbe gilt für Signale verschiedener Frequenz der Trägerwelle. Man kann daher mit geeigneten Auswahlverfahren dafür sorgen, dass nur das jeweils beste Signal ausgewertet wird. Meist verwendet man zwei Empfangsantennen, die etwa hundert Wellenlängen Abstand voneinander haben müssen, eine Antenne kann gleichzeitig für den Sender mitbenutzt werden. Mit den Antennen verbunden sind zwei oder in manchen Fällen auch vier Empfänger, wenn zwei Frequenzen verfügbar sind. Die Ausgangssignale werden in geeigneter Weise zusammengeschaltet. Dadurch gelingt es, den Einfluss des Schwundes weitgehend auszugleichen und Verbindungen mit einer Übertragungsgüte und Zuverlässigkeit zu schaffen, die auch mit vergleichbaren Kabeln oder Richtfunkrelaislinien nicht besser erreichbar sind, bisher allerdings mit einem sehr erheblichen Kostenaufwand.

Es gibt jedoch eine

Einschränkung für die Verwendung von Überhorizontlinien.

Die übertragbare Signalbandbreite ist bei Überhorizontausbreitung geringer als bei Richtfunkrelaislinien, die im Bereich der Sichtweite arbeiten. Bei unbehinderter, direkter Ausbreitung können mit einem hochfrequenten Träger 960 bis 1800 Fernsprechanäle oder ein 625-Zeilen-Fernsehsignal ohne merklichen Güteverlust übertragen werden. Bei Überhorizontausbreitung verursacht die Mehrwegeausbreitung nicht nur Amplituden-, sondern auch Phasenschwankungen innerhalb des Modulationsbandes, die zu Verzerrungen führen und durch Mehrfachempfang nicht ausgleichbar sind. Je breiter das zu übertragende Signalband ist, um so störender werden die Verzerrungen. Die Untersuchung der Linie Florida-Kuba hat das deutlich gezeigt. Das Fernsehsignal

Wir müssen unter
Eidgenossen immer
verständiger, immer einiger
und so immer stärker sein,
damit die Schweiz nicht
bleibt, wie wir sie von unsern
Vätern ererbt haben.

General Guisan

ist häufig nur mit eingeschränkter Qualität übertragbar, und selbst das sehr viel engere Band des 120-Kanal-Fernsprechsignals leidet öfters unter Störungen, die den Betrieb allerdings nur unwesentlich beeinträchtigen. Das heisst, die Übertragungskapazität von Überhorizontverbindungen ist je nach den Anforderungen auf sechzig bis hundertzwanzig Ferngespräche begrenzt. Fernsehübertragung hoher Güte lässt sich nicht durchweg erreichen. Trotz dieser Einschränkung und trotz der hohen Kosten der Einrichtungen sind Überhorizontsysteme jedoch in unzugänglichen Gebieten der Erde weit billiger als die Einrichtung anderer Übertragungssysteme, die einen höheren Anteil an Gebäude-, Wege- und Unterhaltskosten erfordern.

Abgefunden hat man sich nicht mit dem grossen Aufwand für Sender, Antennen und Stromversorgung — eine grosse Station braucht mehr als 100 kW Versorgungsleistung —, da in manchen Fällen der Nachschub von Treibstoff, Ersatzteilen und dergleichen erhebliche Kosten und Schwierigkeiten verursacht. Es muss daher versucht werden, die Holzhammermethode der grösstmöglichen Leistungen durch eine Verfeinerung der Empfangsverfahren abzulösen.

Zu unserem Titelbild

Der neue Zentralenwagen, der den Telegraphenkompagnien neu zugeteilt wird, zeichnet sich vor allem durch seine Geländegängigkeit aus. Gegenüber dem alten Zentralenanhänger stellt das eine entscheidende Erleichterung für die Bedienungsmannschaften und eine Erhöhung der Beweglichkeit dar. Ausgerüstet ist der Wagen mit der zuverlässigen TZ 43, die übrigen Einrichtungen sind nach dem letzten Stand der Technik entwickelt worden.