

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 67 (1989)

Heft: 9

Artikel: Koexistenz von terrestrischem Richtfunk mit Satellitenfunk

Autor: Denzler, Viktor

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874952>

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: 12.02.2026

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

Koexistenz von terrestrischem Richtfunk mit Satellitenfunk

Viktor DENZLER, Bern

Zusammenfassung. *Satelliten- und Richtfunkdienste nutzen zum Teil die gleichen Frequenzen. Beide Dienste können sich daher gegenseitig stören. Ausgehend vom zulässigen Störpegel der Interferenzen zeigt der Autor Möglichkeiten auf, um die zulässige Strahlungsleistung eines «Störsenders» abzuschätzen. Näherungsformeln zur Berechnung der Nebenzipfel im Strahlungsdiagramm von Parabolantennen und entsprechende Messresultate werden angegeben. Einfache Ausbreitungsmodelle für Störverbindungen von der Störquelle zum gestörten Empfänger sind erläutert. Resultate aus Modellberechnungen werden den Resultaten von Ausbreitungsmessungen gegenübergestellt.*

Coexistence des liaisons dirigées terrestres et des radiocommunications par satellites

Résumé. *Les services par satellites et ceux des liaisons dirigées utilisent en partie les mêmes fréquences. Il est donc possible qu'ils se perturbent mutuellement. En se fondant sur le niveau perturbateur admissible des interférences, l'auteur montre la possibilité d'évaluer la puissance rayonnée admissible d'un «émetteur perturbateur». On indique des formules approchées pour calculer le lobe secondaire dans les diagrammes de rayonnement d'antennes paraboliques ainsi que les résultats des mesures y relatives. Des modèles simples pour des perturbations se propageant de la source au récepteur perturbé sont expliqués. Les résultats de calculs types sont comparés à ceux de mesures de propagation.*

Coesistenza tra radiocomunicazioni via ponti radio terrestri e radiocomunicazioni via satelliti

Riassunto. *I servizi di radiocomunicazione via ponte radio e via satellite utilizzano in parte le stesse frequenze e possono perciò disturbarsi a vicenda. L'autore, partendo dal livello di disturbo ammesso per le interferenze, mostra come si possa valutare la potenza d'irradiazione ammessa di un'emittente disturbatrice; indica le formule per il calcolo approssimativo dei lobi laterali nel diagramma di irradiazione di antenne paraboliche e i relativi risultati; presenta semplici modelli di propagazione del disturbo dalla fonte al ricevitore e confronta infine i risultati dei calcoli basati su modelli con i risultati delle misure di propagazione.*

11 Einleitung

In den letzten Jahren wuchs der Fernmeldeverkehr sowohl im terrestrischen Richtfunk als auch im Satellitenfunk. Die Verkehrszunahme scheint in der nächsten Zeit anzuhalten, so dass weiterhin Neu- und Ausbauten entsprechender Verbindungen zu erwarten sind. In beiden Diensten werden Mikrowellen zur Übertragung der Nachrichten genutzt. Aus physikalischen und ökonomischen Gründen sind nicht alle Frequenzbänder im Mikrowellengebiet für eine wirtschaftliche Übertragung geeignet; deshalb werden einige Bänder durch beide Dienste gemeinsam belegt. Der Empfänger einer Satellitenbodenstation kann unerwünschte Signale eines terrestrischen Richtfunksenders empfangen. Ebenso kann ein Bodenstationssender im Band eines Richtfunkempfängers senden. Gegenseitige Störungen sind dabei nicht auszuschliessen.

Die Bodenstationen empfangen Nutzsignale mit sehr kleinen Pegeln von -80 dBm...-110 dBm. Damit eine gute Übertragungsqualität gewährleistet werden kann, müssen die Empfänger dementsprechend rauscharm und empfindlich sein. Sie sind damit aber auch sehr störempfindlich auf Signale fremder Dienste. Die Sendepiegel terrestrischer Richtfunksender betragen im Maximum 43 dBm. Diesen Gegebenheiten muss bei der Wahl eines Standortes für eine Bodenstation Rechnung getragen werden, wenn die Frequenzen der Satelliten- und der terrestrischen Verbindung identisch sind oder nahe beieinander liegen. Die zu erwartenden Interferenzsignale dürfen dabei keine nachteiligen Einflüsse auf die Satellitenverbindung ausüben. Umgekehrt verhält es sich, wenn die Sendefrequenz einer Bodenstation mit der Empfangsfrequenz einer terrestrischen Verbindung zusammenfällt. In diesem Fall muss berücksichtigt werden, dass ein Bodenstationssender mit Leistungen bis zu einigen hundert Watt (50 dBm...60 dBm) senden

kann, und dass der Empfangspegel der Richtfunkempfänger bei ungefähr -30 dBm liegt.

In den Anfängen des schweizerischen Satellitenfunks hat man die gegenseitigen Beeinflussungen durch die Wahl eines geeigneten Standortes weitgehend verhindern können. Ein solcher Ort wurde auf einer Anhöhe bei Leuk im Wallis gefunden. Die Berner Alpen schirmen gegen das schweizerische Mittelland und die Walliser und Italiener Alpen gegen die Po-Ebene ab. In dem zwischen den Gebirgszügen liegenden Rhonetal werden zwar auch terrestrische Richtfunkstrecken geführt. Deren Frequenzen konnten aber so gewählt werden, dass sie nicht in den Satellitenbändern liegen.

Fortschritte in der Technologie, für bestimmte Dienste aber auch Zugeständnisse an die Übertragungsqualität, begünstigten in den letzten Jahren den Bau von Bodenstationen mit relativ kleinen Antennen. Einer dieser Stationstypen, mit Antennendurchmessern von ungefähr 6 bis 9 m, wurde für ein Satellitennetz zur Übertragung von digitalen Daten entwickelt. Aus wirtschaftlichen Überlegungen werden diese Bodenstationen in Agglomerationen (d. h. nahe beim Kunden) aufgestellt. Öfters haben diese Standorte Sichtverbindung zu einem oder mehreren Richtfunksendern.

Im Bestreben, immer kleinere Bodenstationen zu entwickeln, entstanden transportable, leicht zu verschiebende Bodenstationen. Mit ihren Antennen von 3 bis 4 m Durchmesser erleichtern sie die Fernsehübertragung von Grossanlässen. Ein weiterer Schritt in der Entwicklung führte zu leicht zerlegbaren Bodenstationen mit noch kleineren Antennen (Durchmesser etwa 1,2 bis 1,8 m), die in zerlegtem Zustand sogar als Fluggepäck mit auf eine Reise genommen werden können. Mit diesen Kleinstbodenstationen wird es möglich, Bilder von praktisch beliebigen Orten via TV-Studio dem Zuschauer in die Stube zu liefern.

Diese grosse Mobilität der Kleinbodenstationen bringt für Reportagen sicher Vorteile, kann aber auch Nachteile für den terrestrischen Richtfunk zur Folge haben, da die transportablen Stationen vorwiegend als Sender eingesetzt werden und so einen Richtfunkempfänger stören können. Die in den Agglomerationen eingesetzten Bodenstationen senden und empfangen in der Regel simultan. Sie können folglich gleichzeitig einen Richtfunkempfänger stören und von einem Richtfunksender gestört werden. Diese gegenseitigen Störungen konnten in der Schweiz bis anhin durch geeignete Zuteilung der Frequenzbänder vermieden werden.

Nachstehend folgen einige Überlegungen und Anregungen zu einem Vorgehen, mit dem die Einflüsse von Störsignalen abgeschätzt werden können. Die Empfehlungen der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) bezüglich den zulässigen Interferenzstörungen dienen als Grundlage. Die formalen Zusammenhänge basieren auf sehr einfachen Modellen. Durch ihre Einfachheit wird in Kauf genommen, dass Teilresultate grössere Unsicherheiten enthalten als Ergebnisse aus differenzierteren Modellen. Da aber einige Grössen ein stochastisches Verhalten aufweisen, wird ein Störsignal Pegelschwankungen unterworfen, die bereits die Unsicherheiten der einfachen Modelle übersteigen. Jede Störabschätzung wird daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sein.

2 Zulässige Störpegel und erforderliche Störabstände

Die zulässigen Störpegel in Bodenstations-Empfängern und die erforderlichen Störabstände in Empfängern terrestrischer Richtfunkstationen sind in [1] beschrieben und werden im folgenden kurz erläutert.

Der zulässige Störpegel ist jene Leistung eines unerwünschten Signals, die im demodulierten Nutzsignal noch keine signifikanten Störungen erzeugt. Er ist ein Grenzwert, der nicht überschritten werden sollte. Die Störleistungen in einem Empfänger können aus mehreren Störquellen stammen, die verschiedenen Diensten angehören. In einigen Empfehlungen des «Comité Consultatif International des Radiocommunications» (CCIR) wird vorgeschlagen, die zulässige Leistung der unerwünschten Signale aufzuteilen und den verschiedenen Diensten zuzuordnen. So sollten z. B. die Störsignale aus terrestrischen Richtfunksendern in einer Satellitenverbindung 10 % des gesamten Störpegels nicht überschreiten. Diese Zuordnung erlaubt ein Koordinieren zweier Dienste, ohne dass weitere Dienste berücksichtigt werden müssen. Es gibt also für die fremden Dienste individuelle zulässige Störpegel für ein Nutzsignal.

Für die Störintensität auf einem gestörten Signal ist von Bedeutung, wieviel Energie aus dem störenden Signal in den Demodulator gelangen kann. Das Kanalfilter des Empfängers wirkt dabei begrenzend. Die spektrale Energiedichte des Störers innerhalb des Nutzbandes bestimmt den Interferenzpegel im Demodulator. Die Bandbreiten von Nutz- und Störsignal sind also markante Grössen. Die Störeinflüsse für Inbandstörer müssen in zwei Fällen betrachtet werden. Im ersten Fall gilt die Bedingung:

$$B_N \leq B_{st} \quad 21$$

Im zweiten Fall wird:

$$B_N > B_{st} \quad 22$$

wobei B_N die Bandbreite des Nutzsignals und B_{st} die Bandbreite des Störsignals bedeuten. Für Bandbreiten, die der Formel 21 genügen, sind in *Tabelle I* die Verhältnisse der Interferenzleistung im Demodulator I_a zu der Leistung P_a des störenden Kanals aufgeführt. Das Verhältnis I_a/P_a wird hier als Störfaktor bezeichnet. Die in *Tabelle I* aufgeführten Formeln sind die schlimmsten Fälle für das gestörte Signal.

Erfüllen die Bandbreiten die Formel 22, dann können mehrere Träger des Störsenders ins Nutzband fallen. Sind die Leistungen der störenden Träger, die vom Demodulator empfangen werden, gleich gross, dann wird der Störfaktor

$$\frac{I_a}{P_a} [\text{dB}] = 10 \lg k \quad 23$$

Dabei ist k die Anzahl der vom Demodulator empfangenen Störträger.

Die zulässige Leistung I_z eines Inbandstörers vor dem Kanalfilter ist gegeben durch:

$$I_z [\text{dBm}] = I [\text{dBm}] - \frac{I_a}{P_a} [\text{dB}] \quad 24$$

wobei I den zulässigen Störpegel im Demodulator für einen fremden Dienst bedeutet. Der zulässige Störpegel I im Demodulator kann nach den Angaben in [1] bestimmt werden. Die zulässige Leistung I_z des Inbandstö-

Tabelle I. Störfaktoren für verschiedene Störmodulationen für den Fall: Störbandbreite $B_{st} \geq$ Nutzbandbreite B_N

	Modulationsart des Störers	Störfaktor $\frac{I_a}{P_a} [\text{dB}]$
Störer aus terrestrischen Diensten	Amplitudenmodulation (AM)	$\frac{I_a}{P_a} = 0 \text{ dB}$
	Frequenzmodulation (FM)	$\frac{I_a}{P_a} = 0 \text{ dB}$
	Phasensprungmodulation (PSK) und Quadraturamplitudenmodulation (QAM)	$\frac{I_a}{P_a} = 10 \lg \frac{B_N}{B_{st}}$ $B_{st} = f_s = 2 f_{Ny}$
Störer aus Satellitendiensten	Frequenzmodulation (FM)	$\frac{I_a}{P_a} = 10 \lg \frac{B_N}{B_{st}}$
	Telefonie	$B_{st} = \sqrt{2} \pi f_r L_f$
	TV	$B_{st} = 2 \text{ bis } 4 \text{ MHz}$
	Phasensprungmodulation (PSK)	$\frac{I_a}{P_a} = 10 \lg \frac{B_N}{B_{st}}$ $B_{st} = f_s = 2 f_{Ny}$

I_a = Interferenzleistung im Demodulator
 P_a = Leistung des ganzen Störers
 f_s = Symbolrate
 f_{Ny} = Nyquistfrequenz
 f_r = Testtonhub für 0 dBm0
 L_f = Lastfaktor

ers versteht sich als diejenige Leistung, die in der ganzen Kanalbandbreite des Störsignals im Empfänger auftreten darf.

Die Eingangsverstärker in den Bodenstationen sind in der Regel breitbandig. Signale aus fremden Diensten in den an die Satellitenbänder angrenzenden Bändern können daher empfangen und verstärkt werden; diese können durch nichtlineare Verzerrungen die Qualität der Nutzsignale beeinträchtigen. Es sind also auch noch zulässige Störpegel I_z' zu beachten, die durch die Linearität der Eingangsverstärker gegeben sind. Für die Signale in den benachbarten Bändern kann man ebenfalls einen zulässigen Störpegel I_z' je Kanal bestimmen:

$$I_z' [\text{dBm}] = I' [\text{dBm}] - 10 \lg n \quad 25$$

n ist die Anzahl der in den Nachbarbändern empfangenen Kanäle.

In Formel 25 wird bei allen empfangenen Störkanälen ein identischer Pegel vorausgesetzt.

Bei Empfängern in Richtfunkanlagen können die Störer in den Nachbarbändern oft vernachlässigt werden, da die selektiven Demultiplexer vor den Verstärkern platziert sind.

3 Störverbindungen

Da dieser Artikel Störungen behandelt, die durch Signale aus fremden Diensten in einem Nutzsignal entstehen, werden die Ausbreitungswege der Interferenzen vom störenden Sender zum gestörten Empfänger als *Störverbindung* bezeichnet. In einer Koordinationsaufgabe für zwei Funkdienste ist für den Planer vor allem jene zulässige Strahlungsleistung des Störsenders von Interesse, die im gestörten Empfänger gerade den zulässigen Störpegel bewirkt. Die Störverbindung ist dabei das Bindeglied zwischen Störer und Gestörtem. Sie und der zulässige Störpegel bestimmen die zulässige Strahlungsleistung der Antenne des Störers:

$$E_z [\text{dBW}] = I_z - G + A \quad 31$$

Es bedeuten:

E_z Zulässige Strahlungsleistung (Effective Isotropic Radiated Power, EIRP) je Kanal in eine Störverbindung.

I_z Zulässiger Interferenzpegel je störender Kanal in dBW aus einer Störverbindung im gestörten Empfänger.

G Gewinn in dBi der Empfangsantenne für die Richtung, aus der das Störsignal auf die Empfangsantenne zukommt.

A Dämpfung in dB, die zwischen der Antenne des Störers und der Empfangsantenne des gestörten Empfängers auftritt.

31 Störverbindungen von störenden Richtfunksendern zu einem gestörten Bodenstationsempfänger

Für eine Teilstrecke im Richtfunk müssen im allgemeinen zwei Störverbindungen berücksichtigt werden. Die

eine ist die direkte Störverbindung, die vom Richtfunktender auf dem kürzesten Weg zur Bodenstation führt. In der zweiten, indirekten Störverbindung werden die Interferenzen in der Hauptstrahlrichtung der Richtfunktendeantenne zum Richtfunkempfänger geführt und am Empfangsort reflektiert. Ein Teil davon gelangt zum Satellitenempfänger und wird dort zum Störsignal. In *Figur 1* sind die Störverbindungen illustriert. In der Skizze sind zwei direkte Störverbindungen angedeutet. Bei Sichtverbindung zwischen dem Richtfunktender und der Bodenstation bestimmen die Freiraumdämpfung, der Gewinn der Bodenstationsantenne und der zulässige Störpegel die zulässige abgestrahlte Leistung. Wird die Sichtverbindung jedoch durch ein Hindernis (z. B. einen Berg) unterbrochen, dann erhöht sich die Dämpfung um die Beugungsdämpfung an diesem Hindernis. Als Antennengewinn für die Bodenstationsantenne ist jeweils jener Gewinn zu berücksichtigen, der für das Störsignal wirksam ist. In der Regel handelt es sich dabei um den Gewinn eines Nebenzipfels.

Die zulässige Strahlungsleistung in der Hauptstrahlrichtung der Richtfunktendeantenne (indirekte Störverbindung) wird begrenzt durch die sogenannte Streureflexionsdämpfung, den Antennengewinn der Bodenstation in der Richtung zum Reflexionsort und den zulässigen Störpegel.

Die Ausbreitungsmechanismen der Störsignale sind für die Störverbindungen wesentlich; sie werden anhand einfacher Modelle im Kapitel 5 behandelt.

311 Störverbindungen einer Richtfunkstrecke an einem Beispiel im Wallis

Am Beispiel einer Richtfunkkette im Wallis werden die Störverbindungen der einzelnen Teilstrecken zu den Bodenstationen bei Leuk gezeigt. In *Figur 2* sind die verschiedenen Störverbindungen dargestellt. Die direkte Störverbindung vom Mt. Pèlerin und die indirekte Störverbindung vom Gebidem mit dem Eggishorn als Reflektor werden vernachlässigt, da mehrere Gebirgszüge eine genügend grosse Schutzdämpfung gewähren.

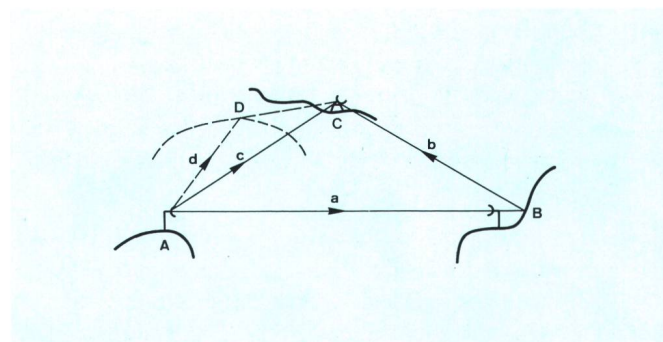


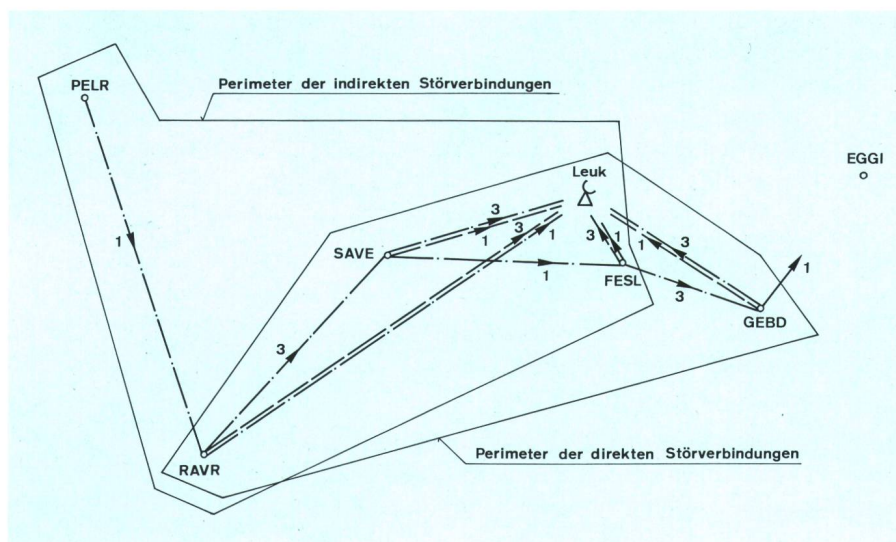
Fig. 1
Störverbindungen eines Richtfunksenders zu einer Bodenstation
 A Richtfunktender
 B Reflexionsort beim Richtfunkempfänger
 C Bodenstation
 D Beugungsort
 a Hauptstrahl der Richtfunktendeantennen
 b Reflektiertes Signal
 c Direkte Störverbindung ohne Hindernis
 d Direkte Störverbindung zum Beugungsort an einem Hindernis
 } Indirekte Störverbindung

Fig. 2
Beispiel von Störverbindungen aus einer Richtfunkkette im Wallis in eine Bodenstation bei Leuk

— — — — — Direkte Störverbindung mit Kanalnummer des Richtfunksignals
- - - - - Indirekte Störverbindung mit Kanalnummer des Richtfunksignals

Die Abkürzungen der Richtfunkstationen bedeuten:

PELR Mt. Pélerin
RAVR Ravoire
SAVE Savièse
FESL Feschel
GEBD Gebidem
EGGI Eggishorn



In einer Richtfunkverbindung wird ein bestimmter Kanal höchstens in jeder zweiten Teilstrecke wieder verwendet. Im Beispiel wird deshalb angenommen, dass jeder zweite Richtfunksender die gleiche Frequenz abstrahlt, d. h. die Frequenzen der Kanäle 1 und 3 werden hier alternierend eingesetzt. Wie Figur 2 zeigt, existieren acht Störverbindungen: Vier mit Kanal 1 und vier mit Kanal 3. Ein Nutzsignal im Satellitenempfänger wird also von mehreren Störsendern beeinträchtigt. Je nach Bandbreitverhältnissen von Störern und Gestörten wirken die Signale von einem Kanal oder von beiden Kanälen als Störer. Bei Inbandstörern müssen deshalb zwei Fälle betrachtet werden.

Ist die Nutzbandbreite B_N kleiner als die Störbandbreite B_{st} , dann wird der Satellitenempfänger aus der Hälfte der möglichen Störverbindungen je ein Störsignal empfangen, z. B. aus den vier Störverbindungen mit dem Kanal 1. Der durchschnittliche Interferenzpegel I_{zt} aus einer dieser Störverbindungen darf demnach

$$I_{zt} [\text{dBW}] = I_z [\text{dBW}] - 10 \lg \frac{n}{2} \quad 32$$

betragen, wobei I_z der zulässige Interferenzpegel aus den terrestrischen Diensten und n die Anzahl der möglichen Störverbindungen bedeutet.

Erfüllen aber die Bandbreiten die Ungleichung $B_N > B_{st}$, und ist B_N genügend gross, dann fallen die Frequenzen von Kanal 1 und 3 ins Nutzband. Es müssen also alle acht, bzw. alle n Störverbindungen berücksichtigt werden. Der durchschnittliche Interferenzpegel I_{zt} je Störverbindung wird in diesem Fall

$$I_{zt} [\text{dBW}] = I_z [\text{dBW}] - 10 \lg n \quad 33$$

Liegen die Kanäle 1 und 3 jedoch in einem Nachbarband, dann sind ebenfalls alle Störverbindungen massgebend.

$$I_{zt}' [\text{dBW}] = I_z' [\text{dBW}] - 10 \lg n \quad 34$$

Der zulässige Interferenzpegel I_z' ist dabei nicht identisch mit I_z in den zwei vorangehenden Formeln. I_z' gilt für die angrenzenden Bänder.

312 Perimeter der Störverbindungen

In einem konkreten Koordinationsproblem stellt sich die Frage: Welche Richtfunksender müssen in die Koordination einbezogen und welche können vernachlässigt werden? Es existieren sicher mehrere Antworten auf diese Frage. Eine Antwort kann dadurch gefunden werden, dass ein Perimeter für die Störsender definiert wird. Alle Richtfunksender innerhalb des Perimeters werden als Störsender deklariert und in der Koordination berücksichtigt. Den Verlauf des Perimeters kann man anhand der zulässigen Strahlungsleistungen in die direkten und indirekten Störverbindungen festlegen. Wenn die zulässige Strahlungsleistung den für den betreffenden Richtfunksender nach [2] grösstmöglichen Wert übersteigt, kann die betreffende Störverbindung vernachlässigt werden, d. h. der Sender wird vom Perimeter nicht erfasst. Als Entscheidungskriterium werden hier die folgenden Ungleichungen empfohlen:

$$E_z - G_s > 13 \text{ dBW} \quad 35$$

für Interferenzen von 1 GHz bis 10 GHz und

$$E_z - G_s > 10 \text{ dBW} \quad 36$$

für Interferenzen über 10 GHz.

Es bedeuten:

E_z Zulässige Strahlungsleistung in dBW in einer Störverbindung (gemäss Formel 31).

G_s Antennengewinn in dBi des Störsenders in der Richtung der Störverbindung.

Erfüllt eine Störverbindung die Ungleichung 35 bzw. 36, dann liegt der Störsender *nicht* im Perimeter.

Bei der direkten Störverbindung ergibt sich in der Regel eine andere zulässige Strahlungsleistung als bei der indirekten Störverbindung vom gleichen Störer. Es sind deshalb zwei Perimeter auszuschneiden, den einen für die indirekten, den andern für die direkten Störverbindungen. Es kann durchaus vorkommen, dass ein Sender innerhalb des einen Perimeters liegt und vom andern

nicht umschlossen wird. Am Beispiel in Figur 2 wird die Inkongruenz der beiden Perimeter gezeigt; es gilt für die Störungen aus einer Übertragung vom Mt. Pèlerin (PELR) zum Eggishorn (EGGI). Für die Übertragung in der umgekehrten Richtung, vom Eggishorn zum Mt. Pèlerin ändert sich der Perimeter für die indirekten Störverbindungen. Dieser schliesst das Eggishorn ein und den Mt. Pèlerin aus.

32 Störverbindungen von einer störenden Bodenstation zu den gestörten Richtfunkempfängern

Der potentielle Störsender für die Richtfunkempfänger ist in diesem Fall der Sender in der Bodenstation einer Satellitenverbindung. Da die abgestrahlte Energie im Aufwärtspfad von keinem Hindernis reflektiert werden kann (Witterungseinflüsse können meistens vernachlässigt werden), sind nur *direkte* Störverbindungen für eine Koordination massgebend.

Gemäss den Angaben in [1] sind die erforderlichen Störabstände für frequenzmodulierte Trägerfrequenzsysteme mit der Länge der zu schützenden Richtfunkverbindung verknüpft. Anhand dieser Länge, den Angaben in [1] und dem Pegelplan der Richtfunkverbindung ist es möglich, den zulässigen Interferenzpegel I im Modulator beziehungsweise den zulässigen Interferenzpegel I_z eines Störkanals (Formel 24) zu bestimmen. Die Länge ist gegeben durch den Abstand von einem gestörten Empfänger zum vorangehenden Empfänger, der vom gleichen Störsender gestört werden kann. Das Beispiel in Figur 3 soll dies veranschaulichen. Es wird dabei angenommen, dass eine Bodenstation bei Leuk Signale mit Frequenzen im terrestrischen Kanal 8 abstrahlt. In der Richtfunkkette werden die Kanäle 6 und 8 alternierend gebraucht. Die Beugungsdämpfung zwischen der Bodenstation und dem Richtfunkempfänger auf dem Mt. Pèlerin (PELR) sei genügend gross, so dass diese Störverbindung (Leuk—PELR) vernachlässigt werden kann. Zu berücksichtigen sind somit noch zwei Störverbindungen. Die eine endet im Empfänger der Teilstrecke Feschel (FESL)—Gebidem (GEBD) und die andere in der Teilstrecke Ravoire (RAVR)—Savièse (SAVE). Die Länge wird nun wie folgt bestimmt: Vor dem gestörten Empfänger in Savièse ist ein Empfänger für den Kanal 8 auf dem Mt. Pèlerin eingesetzt. Die Länge ist also die

Summe der Distanzen der Teilstrecken Mt. Pèlerin—Ravoire und Ravoire—Savièse. Entsprechend sind für den gestörten Empfänger auf dem Gebidem die Distanzen der Teilstrecken Savièse—Feschel und Feschel—Gebidem massgebend.

Für phasenmodulierte digitale Information in einer Richtfunkverbindung sind die minimalen Träger-Interferenzabstände, die während Schwundereignissen gewährt werden sollten, in [1] angegeben. Der zulässige Interferenzpegel ist mit dem Pegelplan und mit den zu erwartenden Schwundtiefen des Nutzträgers bestimmbar.

Ähnlich wie bei der gestörten Bodenstation stellt sich die Frage: Welcher Störpegel soll noch als Störsignal betrachtet und welcher darf vernachlässigt werden? Ein Perimeter der gestörten Empfänger kann auch hier weiterhelfen. Als Entscheidungsmerkmal bietet sich die Ungleichung

$$I_{se} < I_z - 10 \text{ dB} \quad 37$$

an.

$$I_{se} = E - A + G \quad 38$$

Es bedeuten:

I_{se} Der zu erwartende Interferenzpegel je störender Kanal in dBm im Empfänger.

I_z Zulässiger Interferenzpegel je störender Kanal in dBm im Empfänger.

E Strahlungsleistung (Effective Isotropic Radiated Power, EIRP) in dBm je Kanal des Störsenders in eine Störverbindung.

A Dämpfung in dB, die zwischen der Antenne des Störers und der Empfangsantenne des gestörten Empfängers auftritt.

G Gewinn in dBi der Empfangsantenne für diejenige Richtung, aus der das Störsignal auf die Empfangsantenne zukommt.

Wird die Bedingung nach Formel 37 bei einem Richtfunkempfänger nicht erfüllt, dann ist er als gestörter Empfänger zu betrachten und in der Koordination zu berücksichtigen; er liegt im Perimeter. Wird die Bedingung erfüllt, kann der Empfänger in einer Koordination ausser acht gelassen werden.

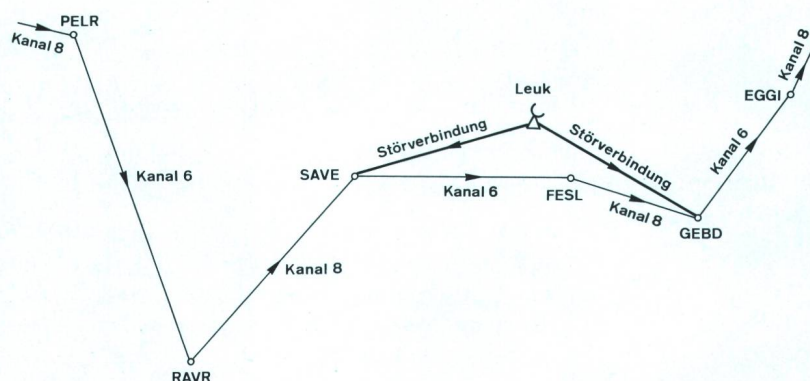


Fig. 3
Beispiel von Störverbindungen von einer Bodenstation bei Leuk in eine Richtfunkkette
Annahme: Die Bodenstation sendet mit einer Frequenz, die im Kanal 8 der terrestrischen Verbindung liegt

4 Antennendiagramme

Die Störverbindungen sind die Wege, auf denen die Störsignale zu den gestörten Empfängern gelangen. Der Weg einer direkten Störverbindung führt vom Störsender über einen Nebenzipfel der Sendeantenne zum Empfänger. Dieser empfängt das Störsignal wiederum durch einen Nebenzipfel. Auch in einer indirekten Störverbindung gelangt der Störer durch einen Nebenzipfel der Empfangsantenne zum Empfänger. Daraus geht hervor, dass in einem Koordinationsproblem das Nebenzipfelverhalten der beteiligten Antennen von grosser Bedeutung sein kann.

In verschiedenen CCIR-Dokumenten und in den Radio Regulations [3, 4] werden mehrere Näherungsformeln zur Berechnung des Nebenzipfelgewinnes angegeben. Es wird in den Dokumenten empfohlen, Koordinations- und Interferenzabschätzungen mit diesen Näherungsformeln durchzuführen. Es existieren Formeln sowohl für Bodenstations- als auch für Richtfunkantennen. Obwohl im Satelliten- und im Richtfunkdienst Parabolantennen, z. T. im gleichen Frequenzband betrieben, eingesetzt werden, weichen die empfohlenen Formeln für den Satellitendienst von denjenigen für den Richtfunkdienst ab. Ein Vergleich der Resultate aus den verschiedenen Formeln für die gleiche Antenne zeigt, dass aus diesen nur belanglose Unterschiede entstehen. Für die Untersuchung werden als Grundlage die vorgeschlagenen Formeln in den Radio Regulations verwendet.

Erfüllt eine Antenne die Bedingung $D/\lambda \geq 100$, dann gilt für die Enveloppe des Haupt- und der Nebenzipfel in dBi:

$$G(\Phi) = G_0 - 2,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \Phi \right)^2 \quad \text{für } 0 \leq \Phi < \Phi_m \quad 41$$

$$G(\Phi) = G_1 \quad \text{für } \Phi_m \leq \Phi < \Phi_r \quad 42$$

$$G(\Phi) = 32 - 25 \lg \Phi \quad \text{für } \Phi_r \leq \Phi < 48^\circ \quad 43$$

$$G(\Phi) = -10 \text{ dB} \quad \text{für } 48^\circ \leq \Phi \leq 180^\circ \quad 44$$

Es bedeuten:

D Durchmesser der Antenne in m.

λ Wellenlänge des Interferenzsignals in m.

Φ Winkel in Grad zwischen der Hauptstrahlrichtung der Antenne und derjenigen Richtung, aus der ein Interferenzsignal empfangen oder in die ein Interferenzsignal abgestrahlt wird.

G_0 Gewinn in der Hauptstrahlrichtung in dBi.

$$G_0 = 10 \lg \left[\eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] \quad 45$$

mit $\eta = 0,55$ für Richtfunkantennen
und $\eta \sim 0,7$ für Bodenstationsantennen

η : Antennenwirkungsgrad

G_1 : Gewinn des ersten Nebenzipfels

$$G_1 = 2 + 15 \lg D/\lambda \quad 46$$

$$\Phi_m = \frac{20 \lambda}{D} (G_0 - G_1)^{1/2} [^\circ] \quad 47$$

$$\Phi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} [^\circ] \quad 48$$

Kleinere Antennen, die der Bedingung ($D/\lambda < 100$) genügen, sind spezifiziert durch:

$$G(\Phi) = G_0 - 2,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \Phi \right)^2 \quad \text{für } 0 \leq \Phi < \Phi_m \quad 49$$

$$G(\Phi) = G_1 \quad \text{für } \Phi_m \leq \Phi < 100 \lambda/D \quad 410$$

$$G(\Phi) = 52 - 10 \lg D/\lambda - 25 \lg \Phi \quad \text{für } 100 \lambda/D \leq \Phi < 48^\circ \quad 411$$

$$G(\Phi) = 10 - 10 \lg D/\lambda \quad \text{für } 48^\circ \leq \Phi \leq 180^\circ \quad 412$$

Für G_1 und Φ_m gelten die Formeln 46 bzw. 47.

Als Entwicklungsziel (design objective) für Bodenstationsantennen schlägt das CCIR in [5] Nebenzipfelanforderungen vor. Diese variieren je nach Antennendurchmesser, Wellenlänge und nach dem zu erwartenden Stand der Technik bei der Inbetriebnahme einer Antenne. In *Tabelle II* sind diese CCIR-Anforderungen zusammengestellt. Für die vor 1989 in Betrieb genommenen Antennen ist die Formel 43 respektive 411 verbindlich. Diese zwei Formeln und jene in der *Tabelle II* gelten

Tabelle II. Empfohlene Anforderungen des CCIR an die Hüllkurve der Nebenzipfel für Bodenstationsantennen, die mit geostationären Satelliten arbeiten

Spezifikation	Gültigkeitsbereiche	Inbetriebnahme der Antenne
$G(\Phi) = 29 - 25 \lg \Phi$	$D/\lambda > 150$ $1^\circ \leq \Phi \leq 20^\circ$	nach 1988
$G(\Phi) = 32 - 25 \lg \Phi$	$100 \leq D/\lambda < 150$ $1^\circ \leq \Phi \leq 20^\circ$	nach 1988
$G(\Phi) = 29 - 25 \lg \Phi$	$100 \leq D/\lambda < 150$ $1^\circ \leq \Phi \leq 20^\circ$	nach 1991
$G(\Phi) = 52 - 10 \lg (D/\lambda) - 25 \lg \Phi$	$35 \leq D/\lambda < 100$ $100 \lambda/D \leq \Phi \leq D/5 \lambda$	nach 1988
$G(\Phi) = 49 - 10 \lg (D/\lambda) - 25 \lg \Phi$	$35 \leq D/\lambda < 100$ $100 \lambda/D \leq \Phi \leq D/5 \lambda$	nach 1991

für 90 % der Nebenzipfel. 10 % der Nebenzipfel dürfen demnach diese Limiten überragen. Der Umstand, dass nur 90 % der Nebenzipfel die Spezifikationen einhalten müssen, trägt dem statistischen Verhalten des Antennengewinnes ausserhalb der Hauptkeule Rechnung.

Bei einer Koordination ist also zu erwarten, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % ein Antennengewinn kleiner oder gleich ausfallen wird als der berechnete. Nach den in [6] veröffentlichten Untersuchungen können die realen Gewinne bis zu 35 dB unter dem berechneten Wert liegen. Unter den restlichen 10 % hat es aber auch Nebenzipfel, die bis zu 8 dB über dem berechneten Wert liegen. Eine berechnete Schutzdämpfung zwischen der Störsenderantenne und einem Empfänger kann also auch zu gross ausfallen. Mit anderen Worten: Ein Störsignal in einem Empfänger kann grösser sein als sein berechneter Wert.

41 Messungen von Nebenzipfeln an Antennen für terrestrische Verbindungen

An vierzehn Parabolantennen für die Richtfunkdienste wurden in einer Messreihe einige Nebenzipfelgewinne gemessen. Es handelt sich dabei um Kreisparabolantennen, wovon fünf Antennen einen Durchmesser von 1,8 m, vier Antennen einen von 2,4 m und fünf Antennen einen von 3 m aufweisen. Die Messungen wurden im Felde an Antennen im sogenannten TV-Zubringer-Feinverteilnetz (GAZ) durchgeführt. Die Antennen strahlen bei 12,8 GHz mehrere AM-modulierte Signale ab, die an geeigneten Messpunkten mit einem transportablen Messempfänger empfangen wurden. Die Messpunkte sind so gewählt, dass sie im Bereich der Nebenzipfel liegen. Da der Nebenzipfelgewinn nicht nur eine Änderung in Funktion des Zwischenwinkels Φ (zwischen Hauptstrahl und Nebenzipfel) erfährt, sondern auch noch eine starke Frequenzabhängigkeit zeigt, können an 59 Messpunkten über 400 Messresultate (Pegel der AM-Signale) gewonnen werden. Anhand dieser Pegel, der Sendeleistungen der AM-Sender und der Distanzen zwischen Messpunkten und Sendern ist es möglich, die wirksa-

men Nebenzipfelgewinne für die einzelnen Signale zu bestimmen.

Mit Hilfe der Formeln 41 bis 412 wurden für jede Antenne die Nebenzipfelgewinne in den Richtungen zu den Messpunkten berechnet. Die Differenzen zwischen den gemessenen und den berechneten Nebenzipfelgewinnen bildeten dann die Argumente für eine statistische Auswertung. Die Summenhäufigkeit dieser Differenzen der copolaren Nebenzipfel (d. h. mit der gleichen Polarisation wie der Hauptstrahl) ist in *Figur 4* abgebildet. Der in der Figur eingezeichnete Referenzwert von 0 dB bedeutet demnach, dass der gemessene Nebenzipfelgewinn gleich gross ist wie der berechnete. Wie die Figur zeigt, beträgt die Summenhäufigkeit für den Referenzwert ungefähr 0,87. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein realer Nebenzipfelgewinn kleiner oder gleich ausfallen wird, wie derjenige mit den Formeln 41 bis 412 berechnete, ist also 87 %, bzw. die gemessenen Gewinne dieser 14 Antennen überragen die berechneten Werte mit einer Wahrscheinlichkeit von 13 %.

5 Ausbreitungsmodelle für die Störverbindungen

Die Einflüsse der Ausbreitung können anhand folgender Modelle abgeschätzt werden.

51 Sichtverbindung

Besteht zwischen der Antenne des Störers und der Antenne des Gestörten eine Sichtverbindung, dann steht das Modell der *Freiraumdämpfung* für eine Abschätzung zur Verfügung.

$$A = -20 \lg \left(\frac{\lambda}{4 \pi d} \right) \quad 51$$

Es bedeuten:

A Freiraumdämpfung in dB.

λ Wellenlänge des Störsignals in m.

d Distanz zwischen gestörter und störender Antenne in m.

52 Streureflexionen

Streureflexionen können anhand eines Modelles aus der sogenannten *Radarformel* abgeschätzt werden. Die Radarformel lässt sich durch Ausbreitungsmechanismen einfach erklären. In der Skizze in *Figur 5* sind die wichtigsten Bestandteile des Modelles enthalten.

Der Sender sendet mit einer Leistung P_s und einer Antenne mit einem Gewinn G_s zum Reflexionsort, der eine Distanz d_1 zum Sender hat. Am Reflexionsort herrscht demnach eine Leistungsdichte von:

$$p_1 = \frac{P_s G_s}{d_1^2 4 \pi} \quad 52$$

Bei diesem Modell werden die Sendeantennen idealisiert, d. h. sie haben keine Nebenzipfel, und die Sendeleistung P_s verteilt sich gleichmässig innerhalb des 3-dB-

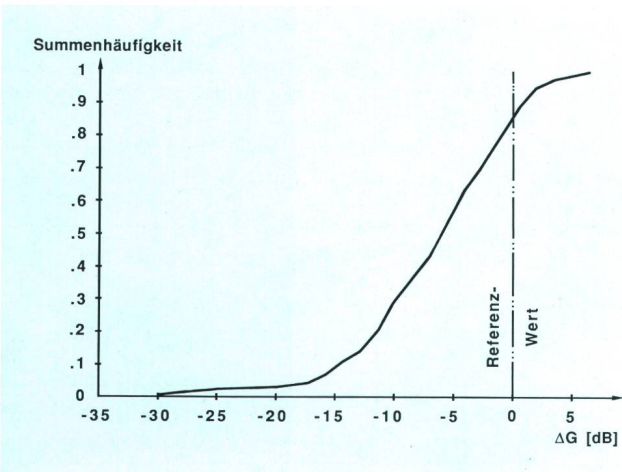


Fig. 4
Summenhäufigkeit der Gewinndifferenz ΔG der Nebenzipfel
 $\Delta G_m - G(\Phi)$
 G_m Gemessener Nebenzipfelgewinn in dBi
 $G(\Phi)$ Gemäss den Formeln 41 bis 412 berechneter Nebenzipfelgewinn in dBi

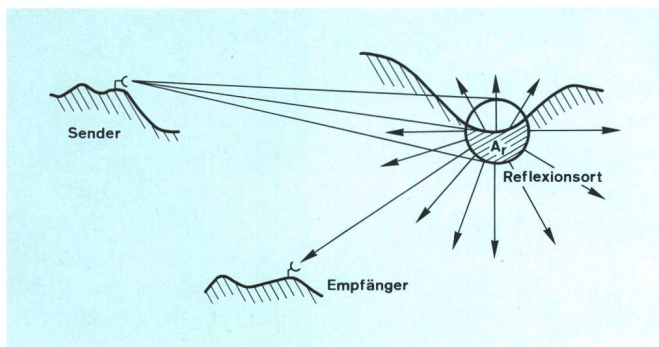


Fig. 5
Modell für Streureflexionen

Öffnungswinkels. Dieser Winkel, die Distanz d_1 und die geographischen Gegebenheiten am Reflexionsort bestimmen die angestrahlte Erdoberfläche A_r , die auch Streuquerschnitt genannt wird. An der angestrahlten Fläche werden die elektromagnetischen Wellen reflektiert. Die an der Fläche A_r reflektierte Leistung wird:

$$P_r = p_1 A_r = \frac{P_s G_s}{d_1^2 4 \pi} \cdot A_r \quad 53$$

Vom reflektierten Signal wird nun angenommen, dass es sich gleich ausbreitet wie ein Signal, das von einem punktförmigen isotropen Strahler am Reflexionsort abgestrahlt wird. Unter dieser Annahme wird die Leistungsichte beim Empfänger:

$$p_2 = \frac{P_r}{d_2^2 4 \pi} = \frac{P_s G_s}{d_1^2 d_2^2 (4 \pi)^2} \cdot A_r \quad 54$$

wobei d_2 die Distanz vom Reflexionsort zum Empfänger bedeutet.

Die Empfangsantenne, gerichtet auf den Reflexionsort, empfängt mit einer wirksamen Antennenfläche A_e die Streureflexionen. Am Flansch der Empfangsantenne wird der Empfangspegel:

$$P_e = p_2 A_e = \frac{P_s G_s}{d_1^2 d_2^2 (4 \pi)^2} \cdot A_r A_e \quad 55$$

Die Formel 55 entspricht etwa dem beschriebenen Modell. Da aber in den meisten Fällen der Gewinn G_e einer Empfangsantenne und nicht die wirksame Antennenfläche bekannt ist, wird die Beziehung 55 ergänzt durch

$$A_e = \frac{G_e \lambda^2}{4 \pi} \quad 56$$

Mit dem Einsetzen der Formel 56 in 55 erhält man

$$\frac{P_e}{P_s} = \frac{G_s G_e \lambda^2}{d_1^2 d_2^2 (4 \pi)^3} A_r \quad 57$$

die sogenannte allgemeine Radarformel. Aus dieser kann folgende Funkfeldämpfung (Radardämpfung) abgeleitet werden:

$$\frac{P_s}{P_e} [\text{dB}] = 103,5 + 20 \lg d_1 + 20 \lg d_2 + 20 \lg f - G_s - G_e - 10 \lg A_r \quad 58$$

In der Formel 510 sind die Werte wie folgt einzusetzen:

d_1, d_2 Distanzen in km.

f Frequenz des reflektierten Signals in MHz.

G_s, G_e Antennengewinne bezogen auf den isotropen Strahler in dBi.

A_r Streuquerschnitt in m^2 .

Bei der Formel 53 zur Bestimmung der reflektierten Leistung P_r wird folgendes vorausgesetzt: Die Leistungsichte p_1 bezieht sich auf die Einheitsfläche (1 m^2) einer Kugel mit dem Radius d_1 . Die Fläche A_r des Streuquerschnittes muss demnach auch zu dieser Kugeloberfläche gehören, denn nur dann stimmt die Formel. In der Praxis wird diese Voraussetzung kaum jemals zutreffen. Die Formel 53 ist aber gültig, wenn A_r die auf diese Kugel projizierte Fläche des Streuquerschnittes im Gelände darstellt, wobei auch hier eine Annahme gemacht wird: Die auf den Streuquerschnitt auftreffenden Wellen werden vollständig reflektiert, d. h. der Leistungsreflexionskoeffizient der Erdoberfläche sei $S^2 = 1$. Aus Messresultaten von Erdraschtemperatur bei 4 GHz lassen sich aber Leistungsreflexionskoeffizienten von $S^2 \sim 0,12$ bis $0,25$ bestimmen. Die projizierte wirksame Fläche A_r wird also

$$A_r = A_{or} S^2 \quad 59$$

In der Formel 59 bedeutet A_{or} den projizierten Streuquerschnitt.

Die Projektion des Streuquerschnittes auf eine Kugeloberfläche ist aufwendig. In den meisten Fällen kann die Projektion auf die Kugel vereinfachend durch eine Projektion auf eine Ebene ersetzt werden, da in der Regel die Distanz d_1 genügend gross und der 3-dB-Winkel genügend klein ist. Diese Ebene steht orthogonal zur Hauptstrahlrichtung der Sendeantenne und schneidet den Reflexionsort.

521 Messungen von Streureflexionen

Die Streureflexionen von drei Reflexionsorten wurden gemessen und über mehrere Stunden registriert. Als Reflexionsstellen dienten Empfangsstandorte im GAZ-Feinverteilnetz vom Ulmizberg. Zu den AM-modulierten Videosignalen wird im Feinverteilnetz ein Pilotsignal auf 12,8 GHz übertragen. Der transportable Messempfänger, der bereits bei den Nebenzipfelmessungen Verwendung fand, empfängt das reflektierte Pilotsignal an verschiedenen Messpunkten. Die wichtigsten Resultate aus den registrierten Streureflexionen in der copolaren Ebene, die Modellwerte für die entsprechenden Reflexionsstellen und die Messorte sind einander in *Tabelle III* gegenübergestellt. Diese zeigt auch die drei Reflexionsorte, an denen je ein GAZ-Empfänger, gespiessen durch einen Richtfunktaster auf dem Ulmizberg, steht. Es wurden fünf Registrierungen an vier Messorten durchgeführt. Die Reflexionen am Standort Magglingen wurden an zwei Messorten und die reflektierten Signale an der Gummegg zweimal in Schlosswil registriert, die Reflexionen bei La Neuveville dagegen nur einmal.

In *Figur 6* sind Ausschnitte der registrierten Streureflexionen in Funktion der Zeit dargestellt. Die Empfangs-

Tabelle III. Resultate der statistischen Auswertung von Streureflexionsmessungen in der copolaren Ebene

Reflexionsort bei	Messpunkt bei	Messdauer [min]	ΔP [dB]	Mittelwert [dBm/m ²]	Standard- abweichung [dB]	Modellwert $S^2 = 1$	
						[dBm/m ²]	Summen- häufigkeit
Maggingen	St. Niklaus	172	30	− 107	5	− 101	92 %
Maggingen	Studensagi	192	27	− 107	3	− 101	99 %
Gummegg	Schlosswil (1. Messung)	214	29	− 111	5	− 95	$1-3 \cdot 10^{-8}$
Gummegg	Schlosswil (2. Messung)	58	26	− 110	4	− 95	$1-4 \cdot 10^{-8}$
La Neuveville	Lüscherz	149	35	− 103	5	− 96	98 %

ΔP : maximaler Pegelunterschied während der Messdauer

gel sind in beiden Diagrammen in Leistungsdichten (dBm/m²) an der Antenne des Messempfängers umgerechnet. Die horizontal gestrichelten Linien entsprechen den Modellwerten (mit $S^2 = 1$). Diese sind mit einem projizierten Streuquerschnitt, entsprechend der Hälfte der ebenen Kreisfläche am Reflexionsort berechnet. Hierbei wird angenommen, dass sich die Hälfte der elektromagnetischen Wellenfront im 3-dB-Kreis über den

Empfangsort hinweg ausbreitet und nicht reflektiert wird. Der projizierte Streuquerschnitt A_{or} beträgt somit:

$$A_{or} = (d_1 \tan \Phi_{3dB})^2 \pi/2 \quad 510$$

mit

$$\Phi_{3dB} \approx 34,6 \cdot \lambda/D \quad 511$$

wobei Φ_{3dB} in Grad den halben 3-dB-Öffnungswinkel bedeutet.

In den Diagrammen der Figur 6 sind starke Pegelschwankungen des reflektierten Signals feststellbar, die ein stochastisches Verhalten aufweisen. Bei der statistischen Auswertung wird vorerst angenommen, dass die Messwerte der Streureflexionen normal verteilt seien. Die in Tabelle III angegebenen statistischen Masszahlen (Mittelwert und Standardabweichung) sind die Ergebnisse. Eine genauere Analyse zeigt aber, dass eine exponentielle Transformation der Merkmale (Messwerte) zu einer besseren Annäherung an die Normalverteilung führt. Die Summenhäufigkeiten der Modellwerte sind mit Hilfe der merkmalttransformierten Näherung berechnet. Die Summenhäufigkeiten variieren von 0,92 bis fast 1. Gleich gross sind die Wahrscheinlichkeiten, dass die Pegel der Streureflexionen die Modellwerte nicht überschreiten.

Es stellt sich nun die Frage, welche Summenhäufigkeit ein Modellwert haben sollte, damit er als vernünftiger Planungswert bezeichnet werden kann. Ein für eine Koordinationsplanung taugliches Modell sollte Streureflexionen liefern, die etwa 90 %...99 % aller Ereignisse abdecken. Die Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 1 %...10 % sind nicht gravierend, denn eine Bodenstation empfängt die Streureflexionen durch einen Nebenzipfel. Für den in der Planung angenommenen Nebenzipfelgewinn besteht auch eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von etwa 10 %. Die Wahrscheinlichkeit für eine Störung wird somit wesentlich kleiner als diese Überschreitungswahrscheinlichkeiten.

Die Summenhäufigkeit des Modellwertes für den Reflexionsort Gummegg erreicht beinahe die Asymptote mit der Wahrscheinlichkeit 1. Der Modellwert liegt wider Erwarten ausserhalb des oben beschriebenen Bereiches.

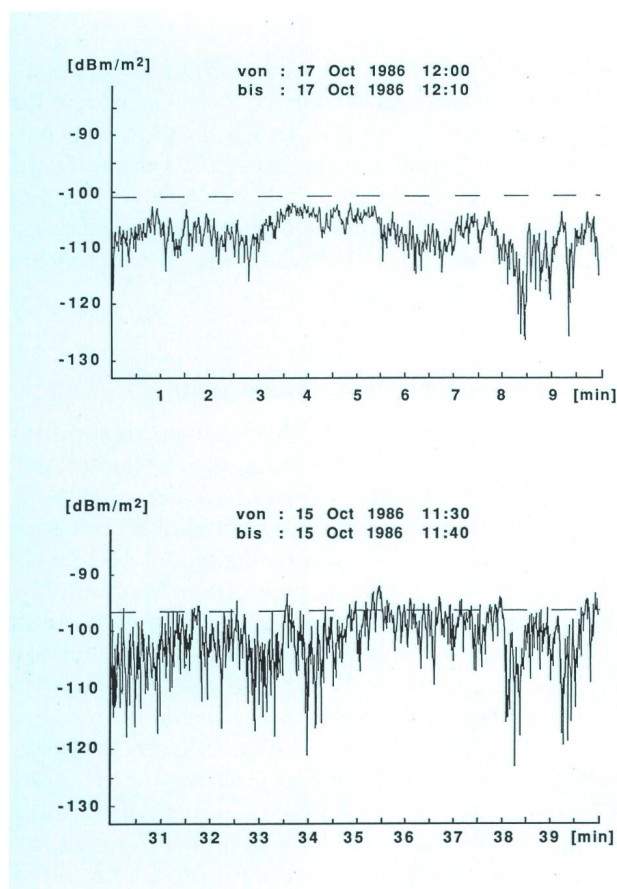


Fig. 6
Leistungsdichten der Streureflexionen in Funktion der Zeit
Registrierungen von Streureflexionen gemessen an zwei verschiedenen Reflexionsorten und Messpunkten. Die gestrichelten horizontalen Linien sind jene Werte, die das Modell aus der Radarformel liefert
Oberes Diagramm Streureflexionen am Empfangsort bei Maggingen, gemessen bei Studensagi
Unteres Diagramm Streureflexionen am Empfangsort bei La Neuveville, gemessen bei Lüscherz

Bei einer Besichtigung des Reflexionsortes stellte sich heraus, dass für diese Reflexionsstelle die gemachte Annahme, der Streuquerschnitt sei halb so gross wie die Fläche des 3-dB-Kreises in der Formel 512, nicht zutrifft. Der Streuquerschnitt wird auf etwa $1/10$ der Fläche des 3-dB-Kreises der Messantenne geschätzt. Mit diesem geschätzten Flächenverhältnis resultiert ein Modellwert mit $S^2 = 1$ von -102 dBm/m^2 mit einer Summenhäufigkeit von 98 % für die erste Messung und 99 % für die zweite Messung. Mit den genauer geschätzten Flächenverhältnissen an der Gummegg resultieren aus dem Modell 7 dB kleinere Leistungsdichten der Streureflexionen, deren Summenhäufigkeiten etwa im angestrebten Bereich liegen.

Wie erwähnt, sind aus gemessenen Rauschtemperaturen der Erdoberfläche Leistungsreflexionskoeffizienten von $S^2 \sim 0,12$ bis $0,25$ ermittelt worden. Setzt man einen mittleren Koeffizienten von $S^2 = 0,18$ in der Formel 59 ein, so liefert das Modell ungefähr die Mittelwerte der Tabelle III.

Einen Einfluss auf das reflektierte Signal hat sicher auch die Beschaffenheit des Reflexionsortes. Ein bewaldeter Hügel wird ein anderes Reflexionsverhalten zeigen als ein betoniertes Objekt. Die drei untersuchten Reflexionsorte weisen vergleichbare Beschaffenheiten auf. Sie bestehen im wesentlichen aus Wald, Wiesen, Äckern und einigen Häusern, bei La Neuveville auch noch Felsen. Unterschiedlich waren dagegen die Witterungseinflüsse. Bei den Messungen der Reflexionen von Magglingen am Messpunkt in St. Niklaus war der Boden feucht und kalt, in Studensagi aber trocken. In Schlosswil herrschte während der ersten Messung schönes, warmes Wetter, die Reflexionsstelle an der Gummegg war trocken. In der zweiten Messphase war das Wetter feucht mit zeitweisem Nieselregen, der Reflexionsort war nass, in Lüscherz schliesslich war der Reflexionsort trocken.

53 Beugungen

Befindet sich zwischen dem Störer und dem gestörten Empfänger ein Hindernis (z. B. ein Hügel), dann wird die Dämpfung der Störverbindung um die Beugungsdämpfung am Hindernis grösser. Diese lässt sich nach [7] berechnen. Als Basis für die Berechnung dient ein extrem idealisiertes geometrisches Modell, das sogenannte «Messers-Schneide-Hindernis» (knife-edge-obstacle), das zu einer Klinge abstrahiert wird, und an deren Schneide das Signal gebeugt wird. Seine Dicke wird vernachlässigt. Die geometrischen Parameter sind in einer einzigen dimensionslosen Grösse v zusammengefasst.

$$v = h \sqrt{\left[\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \right]} \quad 512$$

Es bedeuten:

- h Die Höhe der Spitze des Hindernisses über der Verbindungslinie zwischen dem Störer und dem Gestörten.
- d_1, d_2 Distanz von der Schneide zum Störer bzw. zum Gestörten.

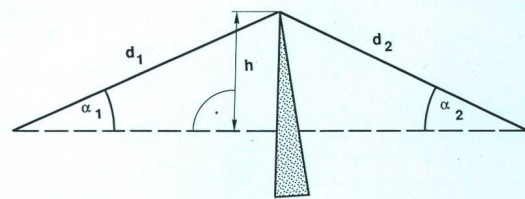


Fig. 7
Geometrisches Modell des Messer-Schneide-Hindernisses zur Bestimmung der Beugungsdämpfung an einem Hügel

In *Figur 7* ist das Modell dargestellt. Die Beugungsdämpfung A_b kann näherungsweise bestimmt werden mit der Formel:

$$A_b [\text{dB}] = 6,4 + 20 \lg \left[\frac{1}{\sqrt{v^2 + 1}} + v \right] \quad 513$$

Beim Modell wird vorausgesetzt, dass die Klinge aus absorbierendem Material und die Summe der Winkel $\alpha_1 + \alpha_2 < 12^\circ$ sei. Im weiteren wird angenommen, dass die Schneide orthogonal zur Ausbreitungsrichtung der Welle verlaufe.

In einer Störverbindung mit einem Hindernis wird demzufolge die totale Dämpfung:

$$A_t = -20 \lg \left[\frac{\lambda}{4 \pi (d_1 + d_2)} \right] + A_b \quad 514$$

Der erste Summand in der Beziehung 514 ist die Freiraumdämpfung (vergleiche Formel 51) zwischen dem Störer und dem Gestörten.

531 Messungen von gebeugten Signalen

Gebeugte Signale wurden an drei verschiedenen Hindernissen gemessen. Als Messsignal diente wiederum das Pilot signal bei 12,8 GHz des GAZ-Feinverteilnetzes von Ulmizberg. Als Hindernisse wurden Berge oder Hügel genutzt, auf denen ein GAZ-Empfänger steht. Hinter jedem dieser Hügel wurde mit dem transportablen Messempfänger das gebeugte Signal gemessen und aufgezeichnet. In *Tabelle IV* sind die Hindernisse, die Messpunkte und die Ergebnisse aus den copolar gemessenen Pegeln der gebeugten Signale zusammengestellt. Wie aus der Tabelle hervorgeht, wurden die Signale von der Hohwacht an zwei verschiedenen Messpunkten und diejenigen von Geretsried und Leubringen an jeweils nur einem Messpunkt gemessen und registriert.

Die Beschaffenheit der Beugungskanten der drei Hindernisse ist sehr ähnlich. Sie bestehen aus Baumwipfeln bewaldeter Bergkämme. Die Baumwipfel schaukeln sich im Winde, die Brechkanten werden laufend hin und her geschoben. Der Wind hat dadurch unter anderem einen Einfluss auf die gebeugten Signale. In *Figur 8* sind Ausschnitte von registrierten Leistungsdichten der gebeugten Wellen wiedergegeben, in denen diese Einflüsse erkennbar sind. Im oberen Diagramm, das bei

Tabelle IV. Resultate der Auswertung von gemessenen gebeugten Wellen

Beugung an	Messpunkt in	Messdauer [min]	ΔP [dB]	Mittelwert [dBm/m ²]	Standard- abweichung [dB]	Modellwert [dBm/m ²]	Summen- häufigkeit	Windverhältnisse
Hohwacht	Trubschachen (Dorf)	209	12	— 102	2	— 98	98 %	leichter Wind, zeit- weise windstill
Hohwacht	Trubschachen (Schwand)	180	16	— 99	2	— 94	99 %	mittlerer Wind
Geretsried	Grossried Bergli	113	7	— 90	1	— 80	100 %	windstill, zeitweise leichter Wind
Leubringen	Orvin	171	34	— 100	5	— 92	95 %	starker Wind, zum Teil Böen

ΔP : maximaler Pegelunterschied

Windstille aufgenommen wurde, schwankt der Pegel um etwa 4 dB. Während den Aufzeichnungen des mittleren Diagrammes herrschte eine mittlere Windstärke. Es sind bereits Pegelunterschiede von ungefähr 12 dB erkennbar. Bei starken, böenartigen Winden können die Pegel

mehr als 30 dB schwanken, wie aus dem unteren Diagramm zu entnehmen ist. Diese Windangaben sind subjektive Eindrücke am Messpunkt. Die Beugungskanten waren während den Messungen trocken.

Eine statistische Auswertung der registrierten Pegel zeigt, dass sich die Pegelverteilungen durch Normalverteilungen annähern lassen. Die statistischen Masszahlen (Mittelwert und Standardabweichung) dieser Auswertung sind in Tabelle IV aufgeführt. Die Modellwerte in dieser Tabelle sind gerechnete Leistungsdichten der gebeugten Wellen, die anhand des Messers-Schneide-Modells für die Messpunkte resultieren. Für die drei untersuchten Beugungskanten liefert das Modell Werte, die zwischen 4 dB und 10 dB über dem Mittelwert liegen. Die Summenhäufigkeiten der Modellwerte bewegen sich zwischen 95 % und nahezu 100 %.

Eine differenzierte Auswertung mit transformierten Merkmalen (Messwerten) zeigt aber, dass sich Beugungen bei windigem Wetter durch eine exponentiell transformierte Verteilung besser an die Normalverteilung annähern lassen als ohne Transformation der Messwerte. Dies gilt vor allem für die Messungen bei starken, zum Teil böigen Winden in Orvin. Aber auch schon die Resultate, die bei mittleren Winden registriert wurden, zeigen diese Tendenz.

6 Schlussbetrachtungen

In der Regel empfängt ein gestörter Empfänger ein Störsignal durch einen Nebenzipfel seiner Antenne. Die Gewinne der Nebenzipfel zeigen in Funktion des Zwischenwinkels Φ zur Hauptstrahlrichtung ein stochastisches Verhalten. Je nachdem, ob in der Richtung des Winkels Φ zufälligerweise ein Nebenzipfelminimum oder -maximum liegt, wird der Antennengewinn in dieser Richtung kleiner oder grösser ausfallen. Dieser Unterschied kann bis zu 40 dB betragen. In einer Koordinationsaufgabe versucht man dem Einfluss der Nebenzipfel durch ihre Hüllkurve zu genügen. Diese wird so angelegt, dass ungefähr 90 % der Nebenzipfelgewinne kleiner oder gleich der Hüllkurve ausfallen. Wird nun ein Störsignal durch ein Nebenzipfelminimum empfangen, kann der Störpegel ohne weiteres bis zu 40 dB kleiner

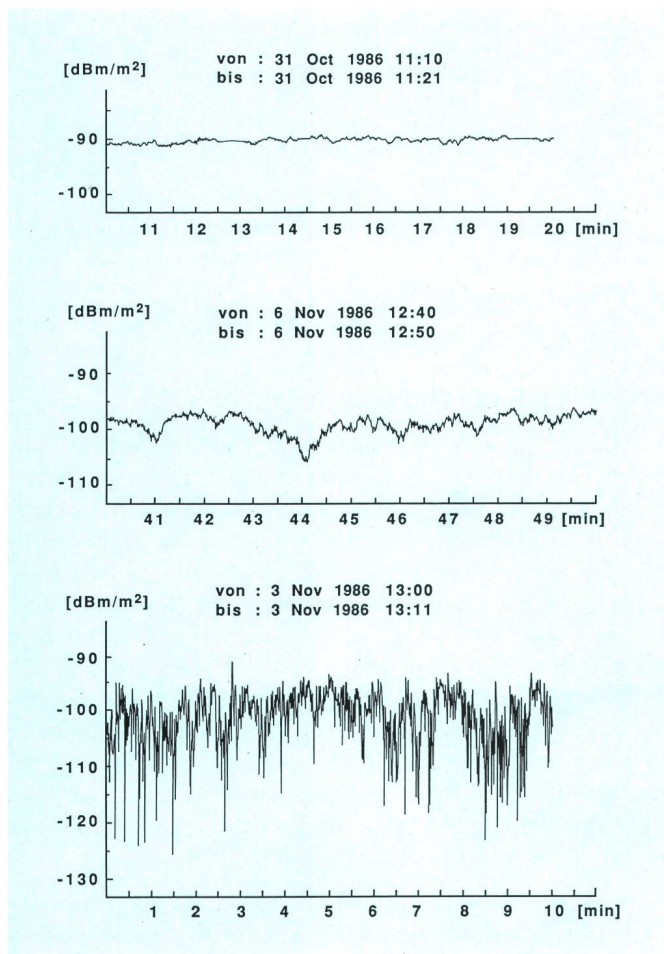


Fig. 8
Ausschnitte aus Registrierungen von gebeugten Wellen, gemessen an drei verschiedenen Hindernissen bei unterschiedlichen Windstärken
Oberes Diagramm Registrierung in Grossried-Bergli bei Windstille
Mittleres Diagramm Registrierung in Trubschachen-Schwand bei mittlerem Wind
Unteres Diagramm Registrierung in Orvin bei starkem Wind mit Böen

sein als jener, der gemäss einer Koordinationsplanung erwartet wird. Es können also grosse Sicherheitsmargen entstehen. Diese sind aber nicht auf eine konservative Planung zurückzuführen, sondern sind eine Folge der Eigenart der Nebenzipfel.

An Hügeln reflektierte – oder gebeugte – Störsignale können besonders die empfindlichen Bodenstationsempfänger stören. Wie Resultate von Untersuchungen zeigen, weisen die Pegel von reflektierten und gebeugten Signalen ebenfalls stochastische Schwankungen auf. Es werden Pegeldifferenzen bis zu 30 dB festgestellt.

Auf Störsignale aus fremden Diensten wirken Ausbreitungsmechanismen, die statistischen Betrachtungen zugänglich sind. Diese Mechanismen sollten in einer Koordinationsplanung durch möglichst einfache Modelle simuliert werden. Sie entsprechen einem Zufallsprozess, dessen Ereignisse über einen grossen Bereich streuen (z. B. die Nebenzipfelgewinne einer Parabolantenne). Differenziertere Modelle liefern deshalb nicht genauere Voraussagen über Störeinflüsse. Die Resultate sollten

aber einer Summenhäufigkeit des Zufallsprozesses von etwa 90 %...99 % entsprechen. Da in den meisten Koordinationsaufgaben mehrere Störverbindungen berücksichtigt werden müssen, und weil in einer Störverbindung mindestens zwei Zufallsprozesse wirken (z. B. Nebenzipfel von Störer und Gestörtem), wird die Wahrscheinlichkeit klein, dass der zulässige Störpegel überschritten wird. Jede Störabschätzung wird mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit richtig sein und ist deshalb naturgemäss mit einer Unsicherheit behaftet.

Bibliographie

- [1] *Denzler V.* Zulässige Störeinflüsse zwischen dem terrestrischen Richtfunk und dem Satellitenfunk. Techn. Mitt. PTT, Bern 67 (1989) 4, S. 169.
- [2] CCIR Recommendation 406-6 (Vol. IV/IX, Part 2).
- [3] Radio Regulations. Appendix 28, Annex III.
- [4] CCIR Report 382-5 (Vol. IV/IX, Part 2).
- [5] CCIR Recommendation 580-1 (Vol. IV).
- [6] CCIR Report 391-5 (Vol. IV).
- [7] CCIR Report 715-2 (Vol. V).

Die nächste Nummer bringt unter anderem:

Vous pourrez lire dans le prochain numéro:

10/89

Princess S.	Eine neue Ausstellung der UIT – Welcome to ITU-COM 89 Une nouvelle exposition de l'UIT – Bienvenue à ITU-COM 89
Kümin E.	Mobile IFS-Telefonzentralen Centraux téléphoniques IFS mobiles
Felchlin P.	Rechtliche Grundlagen der schweizerischen Radio- und Fernsehversorgung durch die PTT-Betriebe
