

Zulässige Störeinflüsse zwischen dem terrestrischen Richtfunk und dem Satellitenfunk

Autor(en): **Denzler, Viktor**

Objektyp: **Article**

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**

Band (Jahr): **67 (1989)**

Heft 4

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874930>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zulässige Störeinflüsse zwischen dem terrestrischen Richtfunk und dem Satellitenfunk

Viktor DENZLER, Bern

Zusammenfassung. *Den terrestrischen Richtfunk- und den Satellitendiensten sind teilweise die gleichen Frequenzbänder zugewiesen. Die Richtfunksender können daher die schwachen Empfangssignale von Satellitenbodenstationen stören. Ebenso kann ein Signal von einem Leistungs-Sendeverstärker einer Bodenstation die Qualität einer Richtfunkverbindung beeinträchtigen. Für die Koordination zweier Funkdienste ist unter anderem der zulässige Störpegel von besonderer Bedeutung. Es werden im Artikel Verfahren beschrieben, mit denen die zulässigen Störpegel bzw. die zulässigen Träger-Interferenzabstände abgeschätzt werden können.*

Influences parasites admissibles entre les liaisons dirigées terrestres et les radiocommunications par satellite

Résumé. *Les mêmes bandes de fréquences sont en partie assignées aux liaisons dirigées terrestres et aux services de radiocommunication par satellites. De ce fait, les émetteurs à faisceaux hertziens peuvent perturber les faibles signaux que captent les stations terrestres pour satellites. De même, le signal émis par un amplificateur d'émission de puissance d'une station terrestre peut détériorer la qualité d'une liaison hertzienne. Entre autres facteurs, le niveau de perturbation admissible est particulièrement important pour coordonner les caractéristiques de deux services radioélectriques. L'auteur décrit les procédés à l'aide desquels on peut évaluer les niveaux perturbateurs admissibles, respectivement les écarts d'interférence admissibles entre porteuses.*

Influssi perturbatori ammissibili tra la radiotrasmissione terrestre su ponti radio e la radiotrasmissione via satelliti

Riassunto. *Al servizio di radiocomunicazione terrestre su ponti radio e al servizio di radiocomunicazione via satellite sono state assegnate, in parte, le medesime bande di frequenza. Capita perciò che i trasmettitori su ponti radio disturbino i deboli segnali di ricezione delle stazioni terrestri per satelliti o che il segnale di un amplificatore di potenza di una stazione terrestre peggiori la qualità di un collegamento in ponte radio. Nel coordinamento dei due servizi di radiocomunicazione assume particolare importanza il livello di disturbo ammissibile. L'autore descrive i metodi adottati per valutare il livello di disturbo ammissibile e il rapporto segnale/disturbo.*

1 Einleitung

Die Internationale Fernmeldeunion (ITU) regelt die Koordination zwischen verschiedenen Funkdiensten z.B. mit Vereinbarungen über die Nutzung der Frequenzbänder, «Radio Regulations» (RR) [1]. Die Nachfrage nach Funkdiensten zur Nachrichtenübermittlung hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen; sie wächst im Bereich gewisser Dienste unvermindert weiter. Aus physikalischen und ökonomischen Gründen ist das Frequenzspektrum für die Funkübertragung aber nur begrenzt nutzbar. Dies führte dazu, dass in den «Radio Regulations» die Frequenzbänder teilweise mehreren Diensten zugewiesen werden. Satelliten- und terrestrische Richtfunkverbindungen verwenden gemeinsame Frequenzbänder. Gegenseitige Störungen sind deshalb nicht auszuschliessen.

Als Folge des wachsenden Bedarfs für Satellitenverbindungen werden den Bodenstationen in Basel, Genf und Zürich noch weitere in den grösseren Städten folgen. Ebenso wird das Richtfunknetz in der ganzen Schweiz weiter ausgebaut. Früher oder später wird ein weiterer Ausbau beider Verbindungsarten nur noch möglich sein, wenn die gemeinsamen Bänder auch von beiden Diensten genutzt werden. Um dabei unliebsame Überraschungen zu vermeiden, ist eine theoretische Abklärung der zu erwartenden Störungen anzustreben. Damit können Schwachstellen, z.B. ungeeignete Standorte für Bodenstationen, frühzeitig erkannt werden.

Zur Koordination zweier Funkdienste werden grundsätzlich zwei Teilaspekte betrachtet. Der eine befasst sich mit der Ausbreitung des störenden Signals von der Störquelle bis zum gestörten Empfänger. Der andere betrifft den Einfluss der Störsignale auf das Nutzsignal. Beson-

ders der *zulässige Pegel* einer Interferenz im Nutzsignal-Demodulator ist für eine Koordination von grosser Bedeutung. Er ist ein Grenzwert, der nicht überschritten werden sollte, und ist definiert als der Störpegel, der noch keine relevanten Störungen im Nutzsignal erzeugt. Dieser Beitrag zeigt Überlegungen und Anregungen für ein Vorgehen, mit dem zulässige Störpegel in Bodenstationen bzw. zulässige Träger-Störabstände in Empfängern von Richtfunkanlagen abgeschätzt werden können. Die Empfehlungen der ITU dienen als Grundlage.

Ein weiterer Beitrag über die *Ausbreitung* der Störsignale ist in Vorbereitung.

2 Frequenzpläne

Figur 1 zeigt einen Frequenzplan für den Bereich 1 GHz...20 GHz. Er macht deutlich, wie die verschiedenen Frequenzbänder den Diensten zugeteilt sind. Der Plan ist nach den Angaben in [1] erstellt und gilt für die Region 1 (Europa und Afrika). Die «zusätzlichen Zuteilungen» (zusätzliche Frequenzbänder) für die Schweiz sind ebenfalls berücksichtigt.

Die Frequenzen für Fernmelde- und Rundfunksatelliten und jene Teile der PTT-Richtfunkbänder, die in die Satellitenbänder überlappen, zeigt *Figur 2*. Mit Ausnahme der Aufwärtsbänder (Up-link) bei 14 GHz und 18 GHz haben alle Satellitenbänder einen «Konkurrenten» im terrestrischen Richtfunk. In den überlappenden Bändern können Signale aus terrestrischen Richtfunksendern in den sehr empfindlichen Empfängern der Bodenstationen das gewünschte Signal des Satelliten stören bzw. kann ein Bodenstationssender zum Störer werden und ein terrestrisches Richtfunksignal beeinträchtigen.

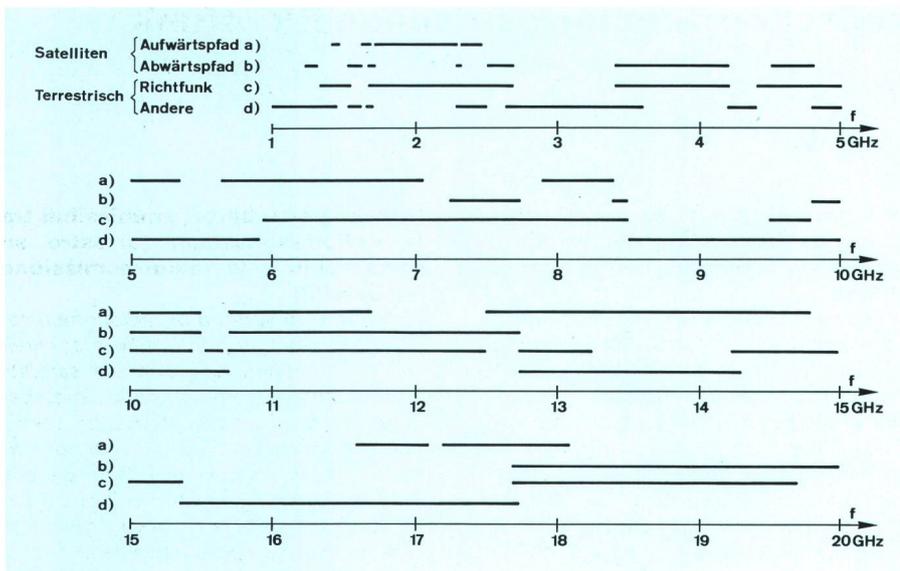


Fig. 1
Frequenzplan von 1 GHz bis 20 GHz für die Region 1 nach [1], einschliesslich zusätzlicher Zuteilungen für die Schweiz

3 Störsignal im Nutzsignal mit gleichen Frequenzen

Störsignale mit unterschiedlichen Modulationsarten bei gleichem Störabstand beeinflussen das Nutzsignal verschieden stark. Die theoretischen Zusammenhänge sind in [2, 3] beschrieben. In [3] werden unter anderem Ergebnisse theoretischer Untersuchungen über Störeinflüsse unerwünschter Signale mit verschiedenen Hüllkurven auf ein phasensprungmoduliertes Nutzsignal (phase-shift keyed modulation with coherent detection, CPSK) beschrieben. Die Resultate zeigen, dass bei weissem Rauschen als Störer die grössten Qualitätseinbussen zu erwarten sind. In der Abteilung Forschung und Entwicklung der PTT-Betriebe konnte dies in praktischen Versuchen erhärtet werden. In mehreren Messreihen wurden einem zweiphasensprungmodulierten (bi-phase-shift keyed, BPSK) Träger verschiedene Störsignale (unmodulierte und frequenzmodulierte Träger, BPSK-Signale und weisses Rauschen) überlagert und deren Einflüsse im demodulierten Bitstrom gemessen. Der Bitfehlerquotient zeigte den grössten Anstieg bei weissem Rauschen. Es ist deshalb zu empfehlen, bei der Frequenzkoordination für PSK-Systeme die zu erwartenden Störleistungen in erster Näherung als Rauschleistung zu betrachten. Auch bei frequenzmodulierten Nutzsignalen wird hier angenommen, dass der Einfluss der Störsi-

gnale auf die Übertragungsqualität kleiner oder ungefähr gleich sei wie von einem Weissrauschsignal mit gleichem Pegel.

Für die Störintensität ist die Energie, die aus dem störenden Signal in den Demodulator des Empfängers gelangen, kann von Bedeutung. Das Kanalfilter des Nutzsignals wirkt dabei begrenzend. Die spektrale Energiedichte des Störers innerhalb des Nutzbandes bestimmt den Interferenzpegel im Demodulator. Die Bandbreiten der Nutz- und Störsignale sind also markante Grössen in der Koordinationsberechnung. Sie werden im folgenden für zwei Fälle betrachtet.

31 Störeinflüsse auf Signale mit Nutzbandbreiten, die gleich oder kleiner sind als die Bandbreite der Störer

In *Figur 3* sind qualitative Verläufe von Energiedichten p als Funktion der Frequenz f bei verschiedenen Modulationsarten und einer Nutzbandbreite B_N des gewünschten Signals dargestellt. Für das Nutzband B_N stellen die Spektren einen «schlimmsten Fall» dar, weil die grösste Energiedichte der Störsignale im Nutzband ist. Wie die *Figur 3* zeigt, sind die Verläufe der Energiedichten je nach Modulationsart verschieden, dementsprechend

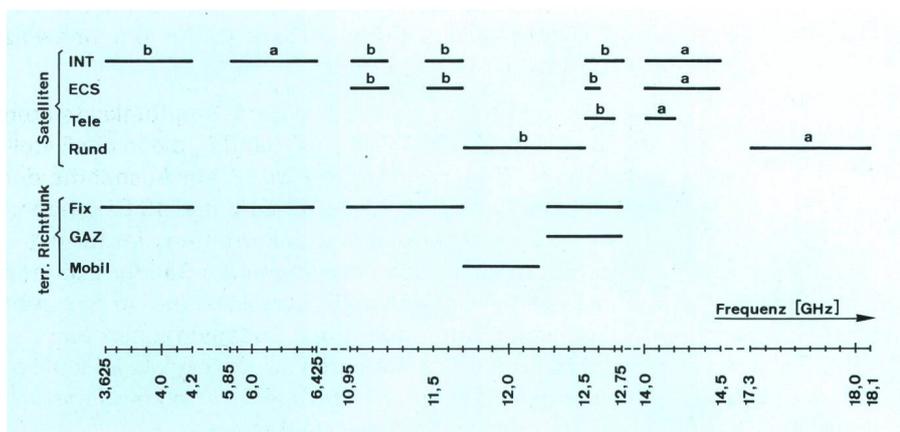


Fig. 2
Von Satellitensystemen und terrestrischen Richtfunksystemen in der Schweiz gemeinsam benutzte Frequenzbänder

- a Aufwärtsband
- b Abwärtsband
- INT Satelliten Intelsat
- ECS Satelliten Eutelsat ECS
- Tele Satelliten Eutelsat Telecom
- Rund Rundfunksatelliten
- Fix terrestrischer Richtfunk, FM-, PSK- und QAM-moduliert
- GAZ Gemeinschaftsantennenzubringer, AM-moduliert
- Mobil mobile Richtfunkverbindungen, FM-moduliert

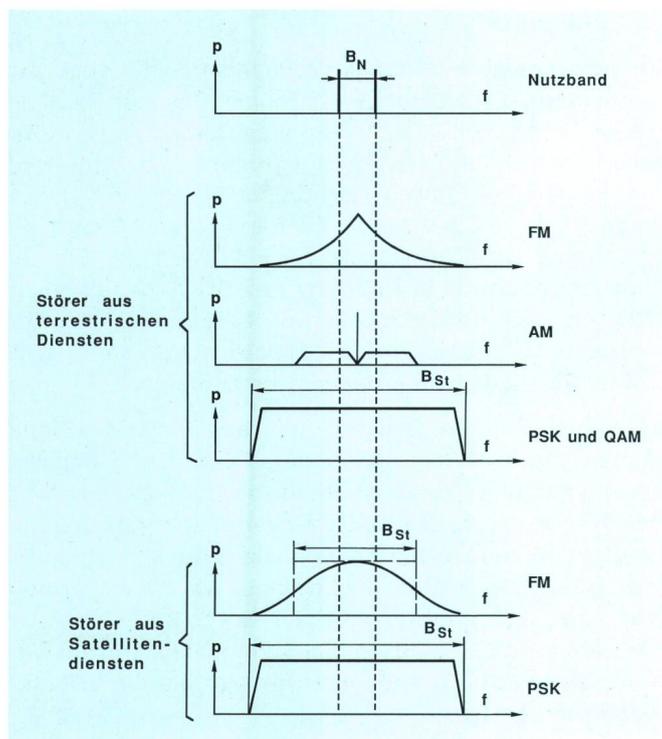


Fig. 3
Nutzband B_N und Spektren von verschiedenen Modulationen möglicher Störer mit der Bandbreite B_{St}
Fall $B_N < B_{St}$

sind auch ihre Einflüsse auf das Nutzsignal unterschiedlich.

311 Frequenzmodulierte Störer

Die FM-Modulatoren arbeiten in den *terrestrischen Richtfunkanlagen* mit wesentlich kleineren Modulationsindices als im Satellitendienst. Deshalb bilden die FM-Spektren der Bodenstationssender eine Glockenkurve, die des terrestrischen Richtfunks jedoch eine prägnante Spitze in der Bandmitte. Die Amplitude der Spitze ist veränderlich je nach momentanem Modulationsindex, der seinerseits den Pegelschwankungen des Informationssignales folgt. Da bei FM die Signalleistung praktisch konstant bleibt, wird das Spektrum bei einer geringen Gesprächsbelastung entsprechend schmal und hoch. Wenn dieses Signal in einem fremden Übertragungssystem mit kleiner Nutzbandbreite als Störer wirkt, kann praktisch die ganze Energie im systemfremden Demodulator empfangen werden. Für frequenzmodulierte Störsignale aus terrestrischen Diensten muss deshalb mit einem Interferenzpegel von

$$I_a \approx P_a \quad 3.1$$

gerechnet werden, wobei I_a den im Demodulator störenden Interferenzpegel und P_a den Pegel des ganzen Störsignales bedeutet.

Das frequenzmodulierte *Satellitensignal* weist ein glockenförmiges Spektrum auf, weil der Modulator bei voller Last mit sehr grossen Modulationsindices arbeitet. Mit abnehmender Last würde auch da die Leistungsdichte in der Bandmitte anwachsen und sich zu einer Spitze for-

men. Um dies zu verhindern, wird dem Basisbandsignal ein Energieverwischungssignal (energy dispersal signal) zugeführt. Dabei wird die Einspeisung dieses Dispersal-Signales durch den Pegel des Telefonie-Basisbandsignales gesteuert und zwar so, dass das Energiedichtemaximum praktisch gleich bleibt. Ohne Gesprächsbelastung erzeugt das Verwischungssignal ein etwa rechteckförmiges Spektrum, das für schmalbandige Übertragungssysteme den grösseren Störeinfluss hat als das glockenförmige. Die massgebende Bandbreite B_{St} im Störsignal ist demnach die Breite des rechteckigen Spektrums. Der im Demodulator störende Interferenzpegel wird in diesem Fall:

$$I_a = P_a \frac{B_N}{B_{St}} \quad 3.2$$

Die Bandbreite B_{St} berechnet sich nach [19] mit dem Testtonhub f_r für einen Testtonpegel von 0 dBmO und dem Lastfaktor L_f (Holbrook-Dixon Zuschlag).

$$B_{St} = \sqrt{2 \pi} f_r L_f \quad 3.3$$

Fernsehübertragungen über Satelliten benutzen ebenfalls die FM-Modulation mit einem Energieverwischungssignal. Dieses wird aber nicht kontinuierlich gesteuert, sondern es wird ein konstantes, verhältnismässig kleines Verwischungssignal dem Videosignal vor dem Modulator zugeschaltet. Fällt nun das Videosignal aus, wird automatisch der Pegel des Verwischungssignales erhöht, das ebenfalls ein rechteckförmiges Spektrum erzeugt. Die Breite dieses Spektrums wird von den Satellitenbetreibern vorgeschrieben und liegt zwischen $B_{St} = 2 \text{ MHz}$ und $B_{St} = 4 \text{ MHz}$.

312 Amplitudenmodulierte Störer

Im Gemeinschaftsantennen-Zubringernetz (GAZ) der schweizerischen PTT findet die Feinverteilung mit amplitudenmodulierten Videosignalen statt (Fig. 2). In einem AM-Signal liegt der grösste Teil der Energie im Träger. Wird ein AM-Signal zum Inbandstörer eines schmalbandigen Nutzsignales, dann wird das Filter des Nutzsignales höchstens einen Teil der Seitenbandenergie zurückhalten; praktisch die gesamte Energie des Trägers wird das Nutzsignal stören. Für ein amplitudenmoduliertes Störsignal wird deshalb empfohlen, die Formel 3.1 anzuwenden.

313 Phasensprungmodulierte Störer

Bei PSK- und Quadraturamplitudenmodulation (QAM) wird ähnlich wie bei FM-Satellitenverbindungen die spektrale Energie durch einen Verwürfler (Scrambler) über die ganze Störbandbreite B_{St} verteilt. Dieses Spektrum kann ebenfalls mit einem Rechteck angenähert werden. Wirkt ein solches Signal als Störer, dann berechnet sich der Interferenzpegel I_a im Demodulator des Nutzsignales mit der Formel 3.2. Die Störbandbreite ist nach [18] durch die Formel

$$B_{St} = f_s = 2 f_{Ny} \quad 3.4$$

bestimmt. Es bedeuten f_s die Symbolrate am Modulator-
eingang und f_{Ny} die Nyquistfrequenz. Da sowohl im Sa-
tellitenfunk als auch im terrestrischen Richtfunk die Ver-
würflertechnik gebräuchlich ist, gilt die Formel 3.4 für
Störsignale aus beiden Diensten.

32 Störeinflüsse auf Signale mit grösseren Bandbreiten als die der Störer

In *Figur 4* sind ein Nutzsignal und ein Störkanalraster
aus einem fremden Dienst dargestellt. Es wird hier an-
genommen, dass im Nutzband höchstens aus jedem
zweiten Kanal Interferenzen empfangen werden, weil im
terrestrischen Richtfunk eine Antenne nur in einer Pola-
risation abstrahlt und die Nachbarkanäle meistens für
eine Ausbreitung in der anderen Polarisation vorgese-
hen sind. Die maximal mögliche Interferenzleistung wird
somit:

$$I_a \approx \sum_{i=1}^k P_a(n-2+2i) \quad 3.5$$

Es bedeuten:

- P_a Störleistung der einzelnen Kanäle
- n Kanalnummer des tiefsten Störkanals im Nutzband
- k Anzahl der möglichen Störer im Nutzband

Sind die Pegel P_a der k Störsignale identisch, dann gilt
für das Verhältnis I_a/P_a in Dezibel:

$$I_a/P_a [\text{dB}] = 10 \lg k \quad 3.6$$

wobei für

$$k = \frac{B_N}{2 K_a} \approx \frac{B_N}{2 B_{st}} \quad 3.7$$

K_a Kanalabstand oder Kanalraster

geschrieben werden kann.

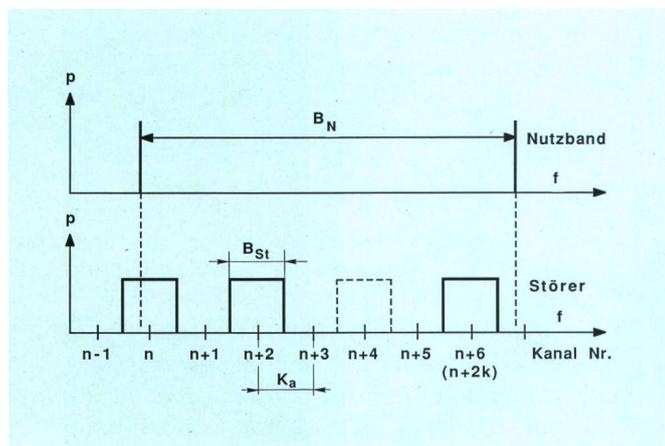


Fig. 4
Nutzband B_N eines gewünschten Signals und Störsignale mit der
Bandbreite B_{st} für den Fall $B_N > B_{st}$

33 Beispiele

Im ersten Beispiel wird das Verhältnis I_a/P_a für einen so-
genannten SCPC-Empfänger (Single Channel Per Car-
rier) in dem ECS-System (European Communication Sa-
tellite) berechnet. Es wird angenommen, der Störer sei
ein 34-Mbit/s-4-Phasen-PSK-Signal mit einer Nyquist-
frequenz $f_{Ny} = 8,592$ MHz. Mit der Formel 3.4 wird die
Bandbreite des Störsignals $B_{st} = 17,184$ MHz. Für die
Nutzbandbreite $B_N = 68,27$ kHz des SCPC-Kanals resul-
tiert mit Hilfe der Formel 3.2 ein I_a/P_a von -24 dB. Der
wirksame Störpegel im Demodulator wird somit 24 dB
kleiner als die Leistung des ganzen Störsignals.

In einem anderen Beispiel, mit einem TDMA-Signal
(Time Division Multiple Access) im TELECOM-Satelliten-
system mit einer Nutzbandbreite von $B_N = 36$ MHz, wird
der Träger durch das GAZ-Feinverteiltetz gestört. Die
amplitudenmodulierten Störsignale sind in einem Ra-
ster von $K_a = 7$ MHz angeordnet. Mit den Formeln
3.6 und 3.7 ergibt sich ein k von $2,57$ und ein
 I_a/P_a von $4,1$ dB. Die störende Summenleistung im De-
modulator wird um etwa 4 dB grösser als die Leistung
eines Störkanals.

4 Zulässiger Störpegel in Empfängern von Satellitenbodenstationen

Zum Empfang der schwachen Nutzsignale des Satelliten
sind die Bodenstationen mit sehr empfindlichen, rausch-
armen Empfangsverstärkern ausgerüstet, die einen fla-
chen Amplitudenfrequenzgang aufweisen müssen und
deshalb wenig selektiv sind. Zu den Störquellen im
Nutzband können daher auch solche in angrenzenden
Bändern kommen, die sich durch nichtlineare Verzerrun-
gen des Empfängers auch im Nutzsignal auswirken kön-
nen. Diese Gefahr besteht vor allem im Bereich
11 GHz...12 GHz, wo drei Abwärtsbänder mit verhältnis-
mässig kleinen Abständen angesiedelt sind (Fig. 2).
Beide Arten Störquellen werden getrennt behandelt.

41 Zulässige Pegel von Störsignalen im Satellitenband

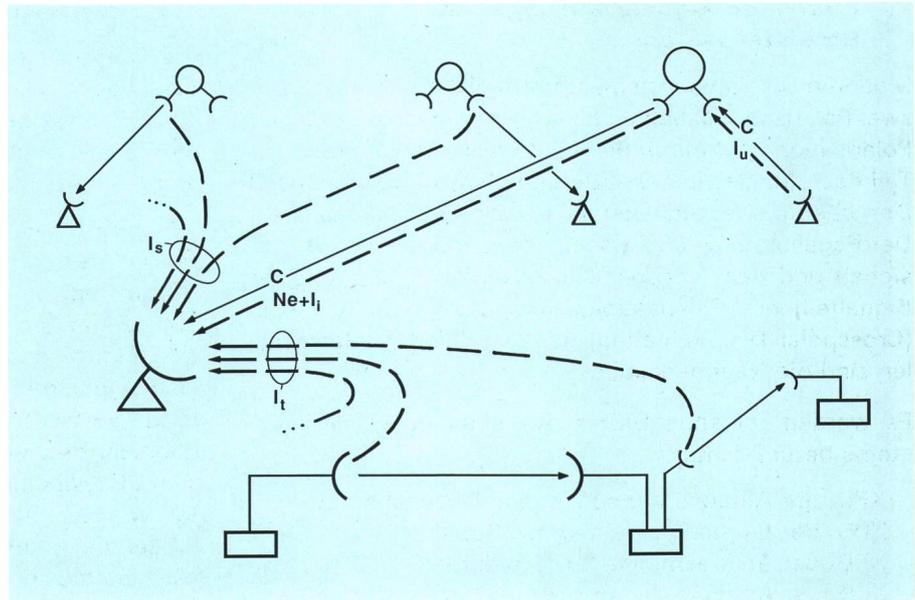
Die Qualität einer Satellitenverbindung wird je nach Sy-
stem nach unterschiedlichen Kriterien (S/N, BER usw.)
beurteilt. Diese lassen sich auf einen Störabstand des
Trägers am Demodulatoreingang zurückführen. Die hier
beschriebene Methode zur Bestimmung des zulässigen
Störpegels benützt deshalb den Träger-Störabstand C/I
am Demodulatoreingang als Qualitätskriterium.

Die geforderte Qualität wird in der CCIR-Literatur [5, 6,
7] jeweils in der folgenden Form definiert: Ein Mindest-
wert muss für einen Prozentsatz T der Zeit innerhalb ei-
nes bestimmten Zeitabschnittes (Jahr oder Monat) ge-
währleistet werden können. Der Störabstand C/I des
empfangenen Trägers darf also einen bestimmten Wert
während T % eines Zeitabschnittes nicht unterschreiten.

Die Trägerleistung C wird hauptsächlich durch die Sen-
deleistung des Satelliten und die Streckendämpfung
des Abwärtspfades bestimmt, daneben aber auch durch
atmosphärische Einflüsse.

Fig. 5
Gestörter Empfang in einer Bodenstation, Nutzsignal und mögliche Störkomponenten mit ihren Quellen

- C Träger des Nutzsignals
- I_u Störbeitrag des Aufwärtspfades
- I_i Interferenzsignal vom eigenen Satellitensystem
- I_s Interferenzsignal von fremden Satellitensystemen
- I_t Interferenzsignal von terrestrischen Diensten
- N_e thermischer Rauschbeitrag vom Abwärts-pfad



Der Störpegel I wird in folgende Störkomponenten unterteilt:

- Störbeitrag des Aufwärtspfades I_u
- Interferenzsignale vom eigenen Satellitensystem I_i
- Interferenzsignale von fremden Satellitensystemen I_s
- Interferenzsignale von terrestrischen Diensten I_t
- thermischer Rauschbeitrag vom Abwärts-pfad N_e .

Figur 5 zeigt den Übertragungsweg eines Trägers C und veranschaulicht die Störkomponenten mit ihren Störquellen.

Um den zulässigen Störpegel terrestrischer Richtstrahlantennen bestimmen zu können, müssen die übrigen Störkomponenten und die Trägerleistung bekannt oder abschätzbar sein. Die atmosphärischen Einflüsse (zusätzliche Dämpfung und Depolarisation) für $T\%$ des vorgeschriebenen Zeitabschnittes müssen dabei berücksichtigt werden.

411 Störbeitrag des Aufwärtspfades

Dieser Störbeitrag setzt sich aus einem thermischen Rauschbeitrag und den unerwünschten Signalen (Spurious Signals) der Sendestationen zusammen.

Der *thermische Rauschbeitrag* wird durch den Träger-Rauschabstand C/N_u im Satelliten bestimmt.

$$C/N_u = \text{EIRP} - A_u + G_s/T_s - 10 \lg(k B), \quad 4.1$$

wobei

$$A_u = -20 \lg \left(\frac{c}{4 \pi d f_u} \right) \quad 4.2$$

Es sind:

- EIRP abgestrahlte Leistung, bezogen auf den Isotropstrahler (EIRP) der Sendebodenstation in dBW
- A_u Freiraumdämpfung des Aufwärtspfades in dB

- G_s/T_s Qualitätsfaktor des Satelliten in dB/K
- k Boltzmannsche Konstante in W/HzK
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ W/HzK
- B Nutzbandbreite in Hz
- c Ausbreitungsgeschwindigkeit in m/s
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s
- f_u Sendefrequenz in Hz
- d Distanz von der Bodenstation zum Satelliten in m
 $d \approx 3,8 \cdot 10^7$ m

Mit den erwähnten Konstanten reduziert sich die Formel 4.1 auf:

$$C/N_u = \text{EIRP} - 20 \lg f_u - 10 \lg B + G_s/T_s + 225 \text{ [dB]} \quad 4.3$$

In einem Satellitensystem senden alle in diesem System beteiligten Stationen Störsignale zum Satelliten. Bei der Bestimmung des Störabstandes C/I_b im Satelliten muss die Summe der Störbeiträge aller beteiligten Stationen berücksichtigt werden.

$$C/I_b = C/I'_b + 10 \lg n \text{ [dB]} \quad 4.4$$

Es bedeuten:

- C/I'_b Störabstand in dB *einer* Sendestation in der Nutzbandbreite
- n Anzahl Bodenstationen in einem Satellitensystem.

Der Gesamt-Störbeitrag des Aufwärtspfades wird durch den Träger-Störabstand

$$C/I_u = -10 \lg \left(\frac{1}{C/N_u} + \frac{1}{C/I_b} \right) \text{ [dB]} \quad 4.5$$

bestimmt. In der Formel 4.5 sind die Größen C/N_u und C/I_b als Quotienten und nicht als dB-Werte einzusetzen.

412 Interferenzsignale vom eigenen Satellitensystem

Moderne Satellitensysteme übertragen häufig Signale in zwei Polarisationssebenen. Einem Nutzsignal in der einen Polarisation wird durch die nicht ideale Entkopplung ein Teil des Signales in der anderen Polarisation überlagert. Der überlagerte Signalteil wirkt als Gleichkanalstörer. Der Pegelunterschied zwischen dem «copolaren» (Nutzsinal) und dem «depolarisierten» Signal (überlagerter Signalteil) wird Polarisationsentkopplung oder kurz XPD (Crosspolar Discrimination) genannt. Weitere Störquellen sind die Nachbarkanäle.

Es werden folgende Störer des eigenen Satellitensystems berücksichtigt:

- XPD_1 der Antenne der sendenden Bodenstation
- XPD_2 der Empfangsantenne des Satelliten
- XPD_3 der Sendeantenne des Satelliten
- XPD_4 der Antenne der empfangenden Station
- XPD_5 der Atmosphäre
- Nachbarkanalstörungen C/I_n

Aus diesen Werten ergibt sich nach der Formel 4.6 ein Interferenzabstand C/I_i für den empfangenen Träger der Bodenstation

$$C/I_{i[\text{dB}]} = -10 \lg \left(\frac{1}{C/I_n} + \sum_{j=1}^5 \frac{1}{XPD_j} \right) \quad 4.6$$

In der Formel 4.6 sind die Grössen C/I_n und XPD_j als Quotienten und nicht als dB-Werte einzusetzen.

Die Polarisationsentkopplung XPD_5 der Atmosphäre ist wetterabhängig. Sie muss anhand der Jahres- bzw. Monats-Statistiken der Polarisationsentkopplungen für T % der Zeit bestimmt werden.

Nachfolgend sind die vorgeschlagenen Planungswerte für die Bodenstationsantennen nach CCIR [8] festgehalten.

- $XPD_1 = XPD_4 = 35 \text{ dB}$ bei linearer Polarisation
- $XPD_1 = XPD_4 = 30 \text{ dB}$ bei zirkularer Polarisation

Vom CCIR werden für die Antennen der Satelliten keine Planungswerte empfohlen. Diese sind aber in der Regel in den Pflichtenheften der Satelliten spezifiziert. Im ECS-Pflichtenheft [9] wird z.B. eine Polarisationsentkopplung von

$$XPD_2 = XPD_3 = 26 \text{ dB}$$

und im Pflichtenheft für die EUTELSAT-II-Satelliten [10] von

$$XPD_2 = 33 \text{ dB} \text{ und } XPD_3 = 34 \text{ dB}$$

verlangt.

Die Nachbarkanalstörungen dürfen vernachlässigt werden, wenn der Leistungsverstärker des Satelliten im linearen Aussteuerungsbereich der Übertragungskennlinie betrieben wird. In nichtlinearen Satelliten wird eine Spektrumserweiterung (Spectrum Spreading) erzeugt. Das erweiterte Spektrum kann als Störer wirken und muss berücksichtigt werden.

413 Interferenzsignale von fremden Systemen

Für Telefoniekanäle werden in den CCIR-Dokumenten die zulässigen Interferenzsignale angegeben. Nach [11, 12, 13] sollen die FM-Netze so geplant werden, dass in einem Telefoniekanal das Störsignal wie folgt aufgeteilt werden kann:

10 % der Störleistung (entsprechend $I_{[\text{dBW}]} - 10 \text{ dB}$) dürfen aus terrestrischen Richtfunksendern und 25 % der Störleistung ($I_{[\text{dBW}]} - 6 \text{ dB}$) aus fremden Satellitendiensten stammen. Die restlichen 65 % sind Störbeiträge aus dem eigenen System. Bei der totalen Störleistung (100 %) handelt es sich um jenen Störpegel I, der während T % eines Zeitabschnittes (Monat oder Jahr) nicht überschritten werden darf. Unter der Annahme, dass sich die Wirkungen der Störsignale etwa gleich verhalten wie der Einfluss des weissen Rauschens, darf die prozentuale Aufteilung der Störbeiträge im Telefoniekanal auf das modulierte FM-Signal am Eingang des Demodulators übertragen werden.

Für die Planung digitaler 8-Bit-PCM-Systeme wird in [14, 15] die gleiche Aufteilung empfohlen wie bei FM. Im Unterschied dazu werden aber die zulässigen Störleistungen nicht im Telefoniekanal, sondern im modulierten HF-Kanal vor dem Demodulator definiert.

Der zulässige Träger-Interferenzabstand zu den Signalen fremder Satellitensysteme wird somit:

$$C/I_{s[\text{dB}]} = C/I + 6 \text{ dB} \quad 4.7$$

Entsprechend wird der zulässige Träger-Interferenzabstand zu den Signalen der terrestrischen Dienste:

$$C/I_{t[\text{dB}]} = C/I + 10 \text{ dB} \quad 4.8$$

Die Störleistungen I_s und I_t in den Formeln 4.7 und 4.8 sind Summenleistungen aller möglichen Störsignale aus den entsprechenden Diensten. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass sowohl die Empfangsanlage der Bodenstation als auch der Empfänger des Satelliten Interferenzsignale empfangen können.

Da weitere Empfehlungen fehlen, wird hier angeregt, die Formeln 4.7 und 4.8 auch für andere digitale Übertragungen über Satelliten anzuwenden.

414 Thermischer Rauschbeitrag des Abwärtspfades

Der Rauschabstand des empfangenen Trägers zum Rauschpegel des Abwärtspfades lässt sich mit der Formel 4.9 abschätzen.

$$C/N_e[\text{dB}] = -10 \lg \left[\frac{1}{C/I} - \left(\frac{1}{C/I_u} + \frac{1}{C/I_i} + \frac{1}{C/I_s} + \frac{1}{C/I_t} \right) \right] \quad 4.9$$

Auch in Formel 4.9 werden die C/I als Quotienten eingesetzt.

Das C/N_e ist derjenige Träger-Rauschabstand, der während T % der Zeit nicht unterschritten werden darf. Die

zusätzliche atmosphärische Dämpfung (Witterungseinfluss) ist in diesem Wert schon berücksichtigt.

415 Bestimmen der zulässigen Störleistung von terrestrischen Anlagen

Der Rauschpegel N_e in der Formel 4.9 kann mit Hilfe der Systemrauschtemperatur der Empfangsbodenstation bestimmt werden. In vielen Fällen wird die Systemrauschtemperatur bei klarem Himmel angegeben. Zusätzliche atmosphärische Dämpfung erhöht die Systemrauschtemperatur. Unter Berücksichtigung dieser Dämpfung wird:

$$N_{e[\text{dBW}]} = 10 \lg \left\{ k B \left[T_b + T_o \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad 4.10$$

Es bedeuten:

- T_b Systemrauschtemperatur bei klarem Himmel [K]
- T_o absolute Temperatur der Atmosphäre $T_o = 270$ K (Lit. [9])
- α Dämpfungsfaktor der zusätzlichen atmosphärischen Dämpfung.

Der zulässige Störpegel der terrestrischen Dienste kann nun abgeschätzt werden mit der Beziehung:

$$I_{t[\text{dBW}]} = N_e + C/N_e - C/I_t \quad 4.11$$

oder

$$I_{t[\text{dBm}]} = N_e + C/N_e - C/I_t + 30 \text{ dB}$$

Der Pegel I_t in der Gleichung 4.11 versteht sich als zulässiger Summenpegel aller terrestrischen Signale, die innerhalb des Nutzbandes empfangen werden.

Die Systemrauschtemperatur der Empfangsstation kann abgeschätzt werden mit

$$T_{b[\text{dBK}]} = G_o - G_b/T_b \quad 4.12$$

wobei

$$G_o[\text{dB}] = 10 \lg \eta \left(\frac{D \pi f_d}{c} \right)^2 \quad 4.13$$

bedeutet.

Es sind:

- G_o Gewinn der Bodenstationsantenne bei der Empfangsfrequenz dB
- G_b/T_b Qualitätsfaktor der Bodenstation in dB (1/K)
- η Antennenwirkungsgrad $\eta \approx 0,7$ (für Bodenstationen)
- D Antennendurchmesser in m
- f_d Empfangsfrequenz in Hz

416 Beispiel für eine ECS-SMS-Bodenstation

In diesem Beispiel wird der zulässige Störpegel terrestrischer Richtstrahlverbindungen in einer Bodenstation ECS-SMS (European Communication Satellite — Satellite Multiservice Systems) berechnet.

Zur Bestimmung des Störbeitrages im Aufwärtspfad wird hier angenommen, dass das ECS-SMS-System bis zu 100 Bodenstationen bedienen kann.

Eutelsat garantiert eine Bitfehlerquote von $BER \leq 10^{-6}$ für $T = 99$ % eines durchschnittlichen Jahres.

Vom Modem wird gefordert, dass bei einem normierten Träger-Rauschabstand (energy per bit to noise power density ratio) $E_b/N_o = 6,1$ dB die Bitfehlerquote $BER \leq 10^{-6}$ betragen soll. Diese Forderung soll mit einem fehlerkorrigierenden Viterbi Codec erfüllt werden.

Das ECS-SMS-System bietet den Kunden Träger mit verschiedenen Bitraten mit entsprechenden Übertragungspegeln und Bandbreiten an, die in einem SCPC-System (Single Channel per Carrier) übertragen werden. Für die Berechnung der zulässigen Interferenzstörungen ist der kleinste Träger massgebend. Seine Daten sind:

Bandbreite	$B = 68,27$ kHz
Bruttobitrate	$BR = 136,53$ kbit/s
Strahlungsleistung der Sendebodenstation	$EIRP = 54,7$ dBW
Störabstand zu den Störsignalen	$C/I_b' = 52$ dB

Die noch fehlenden Parameter sind:

Satellit:

Qualitätsfaktor $G_s/T_s = 1$ dB

Polarisationsentkopplungen

- Empfangsantenne $XPD_2 = 26$ dB
- Sendeanenne $XPD_3 = 26$ dB

Bodenstation:

Sendefrequenzband $f_u = 14,0$ GHz...14,083 GHz

Empfangsfrequenzband $f_d = 12,5$ GHz...12,583 GHz

Qualitätsfaktor $G_b/T_b = 30,9$ dB (1/K)

Polarisationsentkopplungen

- Sendeanenne $XPD_1 = 35$ dB
- Empfangsantenne $XPD_4 = 35$ dB
- Antennendurchmesser $D = 5$ m (Annahme)

Die wetterabhängigen Einflüsse auf die Träger im Abwärtspfad sind durch Empfangsmessungen von Signalen des europäischen Testsatelliten OTS mit folgendem Ergebnis untersucht worden:

- Während $T = 99$ % eines durchschnittlichen Jahres wird bei den verwendeten Frequenzen eine zusätzliche atmosphärische Dämpfung $A = 1$ dB nicht überschritten. Dieser Wert entspricht einem Dämpfungsfaktor $\alpha = 1,26$.
- Die Polarisationsentkopplungen der Atmosphäre streuen für gleiche Dämpfungsereignisse stark. Für ein Dämpfungsereignis von $A = 1$ dB liegen die gemessenen Polarisationsentkopplungen zwischen 25 dB und 48 dB. In diesem Beispiel wird der kleinste Wert $XPD_5 = 25$ dB eingesetzt.

Der Träger-Störabstand C/I ist für den normierten Träger-Rauschabstand E_b/N_o bestimmt durch die Beziehung:

$$C/I_{[\text{dB}]} = E_b/N_o + 10 \lg \left(\frac{BR}{B} \right) \quad 4.14$$

Mit dieser Beziehung und den Formeln 4.3 bis 4.13 ergeben sich für das ECS-SMS-System folgende Eigenschaften:

Kleinster zulässiger Störabstand für $T = 99\%$ eines durchschnittlichen Jahres: $C/I = 9,1 \text{ dB}$

Störabstand im Satelliten: $C/I_u = 27,3 \text{ dB}$

Interferenzabstand zu den Störsignalen des eigenen Satellitensystems für $T = 99\%$ eines durchschnittlichen Jahres: $C/I_i = 20,5 \text{ dB}$

Interferenzabstand zu den zulässigen Störsignalen fremder Satellitensysteme: $C/I_s = 15,1 \text{ dB}$

Interferenzabstand zu den zulässigen Störsignalen terrestrischer Dienste: $C/I_t = 19,1 \text{ dB}$

Rauschabstand zum thermischen Rauschpegel des Abwärtspfades für $T = 99\%$ eines durchschnittlichen Jahres: $C/N_e = 11,4 \text{ dB}$

Zulässiger Störpegel terrestrischer Dienste: $I_t = -133 \text{ dBm}$

42 Zulässige Pegel von Störsignalen in den angrenzenden Bändern

Störsignale ausserhalb der Satellitenbänder können in den breitbandigen Bodenstations-Empfängern nichtlineare Verzerrungen erzeugen. Das nichtlineare Verhalten eines Empfängers ist massgebend für den zulässigen Störpegel. Die unerwünschten Signale aus den terrestrischen Diensten dürfen den Arbeitspunkt der rauscharmen Empfangskette nur unwesentlich beeinflussen, damit keine störenden Intermodulationsprodukte durch die Nutzsignale selber erzeugt werden.

Die Satellitenbetreiber spezifizieren häufig eine maximale Leistungsdichte für das Summensignal im Abwärtsfad. Die Linearität der Empfänger wird für die sich aus dieser Leistungsdichte ergebende Empfangsleistung ausgelegt. Der den Arbeitspunkt bestimmende Empfangspegel lässt sich nach der Formel

$$P_{N \text{ [dBW]}} = p + G/T + T_s + 10 \lg(\lambda^2/4 \pi) \quad 4.15$$

berechnen.

Es bedeuten:

- P_N Empfangspegel am Antennenflansch
- p Leistungsdichte in $\text{dB(W/m}^2\text{)}$
- G/T Qualitätsfaktor der Bodenstation in dB(1/K)
- T_s Systemrauschtemperatur in dB(k)
- λ Wellenlänge in m

Um den Arbeitspunkt nicht wesentlich zu verschieben, sollte die Summenleistung der terrestrischen Störer 10% (-10 dB) der Nutzsignalleistung im Bodenstations-

empfänger nicht übersteigen. Der zulässige Störpegel am Eingang des Empfängers wird somit:

$$I'_t \text{ [dBW]} = P_N - 10 \text{ dB} \quad 4.16$$

Der Störpegel I'_t ist der zulässige Summenpegel aller Signale in den an das Satellitenband angrenzenden Bändern, die vom Eingangsverstärker einer Bodenstation verarbeitet werden.

Häufig werden die Linearitätsanforderungen an einen Empfänger auch durch einen «Zweitontest» beschrieben. Zwei Signale am Eingang des Verstärkers, deren Summenpegel dem maximalen Empfangspegel P_N des Nutzsignales entspricht, erzeugen Intermodulationsprodukte, die am Empfängerenausgang bestimmte Mindestabstände zu den Signalen aufweisen müssen. Für die erwähnte ECS-SMS-Bodenstation wird z.B. ein Zweitontest mit einem Pegel von -100 dBW je Ton am Verstärkereingang gefordert. Der Summenpegel beider Töne wird um den Faktor 2, d.h. um 3 dB , grösser und entspricht einem maximalen Nutzsignalpegel von $P_N = -97 \text{ dBW}$. Mit Hilfe der Formel 4.16 wird der zulässige Störpegel $I'_t = -107 \text{ dBW}$.

5 Erforderliche Träger-Störabstände in terrestrischen Richtfunkanlagen

Beim terrestrischen Richtfunk können Störer in benachbarten Bändern praktisch vernachlässigt werden, da dort die HF-Demultiplexer selektiv sind und nur die gewünschten Frequenzbänder den Empfängern zugeführt werden. Der Einfluss eines Inbandstörers dagegen sollte beachtet werden.

In *Figur 6* wird ein durch Signale aus Satellitendiensten gestörter Empfang in einer Richtfunkstation dargestellt.

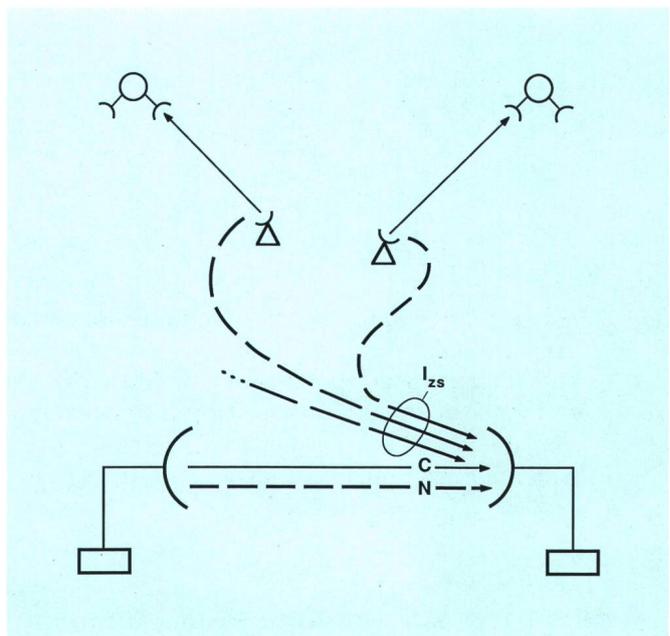


Fig. 6
Gestörter Empfang in einer Richtfunkstation

- C Träger des Nutzsignales
- N Thermisches Rauschen
- I_{zs} Interferenzsignale aus den Satellitendiensten

51 Erforderliche Träger-Störabstände in frequenzmodulierten Trägerfrequenzsystemen

Der Rauschbeitrag einer Richtfunkverbindung, gemessen an einem relativen Nullpegelpunkt in einem Telefonkanal, wird nach [16] durch die Formel

$$N = 3 L + 200 \text{ [pWOp]} \quad 5.1$$

L Länge in km

begrenzt. Diese Formel gilt für Richtfunkverbindungen mit einer Länge L von 50 km...840 km. Die Rauschleistung N ist ein Einminutenmittelwert, der während mehr als 20 % in jedem Monat nicht überschritten werden darf.

Die Interferenzsignale aus den Satellitendiensten dürfen die Übertragungsqualität der Strecke, und damit ihren Geräuschbeitrag N, nur unwesentlich beeinflussen. Aus diesem Grunde wird die zulässige Interferenzleistung in einem Telefonkanal mit

$$I_T = N/10 \text{ [pWOp]} \quad 5.2$$

festgelegt. Mit dieser zulässigen Interferenzleistung kann der erforderliche Störabstand des Trägers in einem Richtfunkempfänger berechnet werden. Vom Störsignal wird dabei ein dem weissen Rauschen ähnliches Verhalten angenommen.

In der *Tabelle I* sind als Ergebnis die erforderlichen Träger-Störabstände $C/I_{ZS [50]}$ für verschiedene Richtfunkssysteme angegeben. Sie gelten für eine Länge $L = 50$ km mit einem zulässigen Störpegel $I_T = 35$ pWOp. Die

Tabelle I. In FM-Richtfunkstrecken von 50 km Länge erforderliche Träger-Störabstände zu Interferenzsignalen aus Satellitendiensten

Richtfunksystem	Erforderlicher Träger-Störabstand $C/I_{ZS[50]}$
FDM / FM 960	62 dB
FDM / FM 1800	65 dB
FDM / FM 2700	67 dB

Länge L folgt aus der Annahme, dass die Teilstrecken mit Kanalfrequenzen im Aufwärtsband der störenden Bodenstationen in einem Abstand von 50 km eingesetzt werden. Für grössere Distanzen bis 840 km können die erforderlichen Störabstände mit

$$C/I_{ZS} = C/I_{ZS [50]} - 10 \lg \frac{3 L + 200}{350} \quad 5.3$$

berechnet werden.

52 Erforderliche Träger-Störabstände bei Winkelmodulation für digitale Information

Die Träger-Rauschabstände für einen gegebenen Bitfehlerquotienten lassen sich für den idealen Nyquistkanal nach den Angaben in [17] für PSK-Signale und nach [18] für QAM (Quadraturamplitudenmodulation) bestimmen. Im praktischen Kanal sind Werte um 0,8 dB...2 dB höher erforderlich.

Bei der Planung einer Teilstrecke werden Parameter (Sendeleistung, Antennengrösse usw.) gewählt, die einen Bitfehlerquotienten BER von 10^{-3} während den Schwundereignissen gewährleisten. Der erforderliche Träger-Störabstand C/I_{ZS} in einem Richtfunkempfänger wird hier so festgelegt, dass der Träger-Rauschabstand C/N im ungünstigsten Fall durch die Interferenzsignale aus den Satellitendiensten um 1 dB kleiner wird. In *Tabelle II* sind für verschiedene winkelmodulierte Signale

Tabelle II. Träger-Störabstände in digitalen Richtfunkverbindungen während Schwundereignissen

Modulation	Theoretisches C/N für BER = 10^{-3}	Praktisches C/N für BER $\approx 10^{-3}$	C/I_{ZS}
4 PSK und 4 QAM	9,8 dB	11 dB	17 dB
16 QAM	16,6 dB	18 dB	24 dB
64 QAM	22,6 dB	24 dB	30 dB

die theoretischen und die in einem Empfänger zu erwartenden praktischen Träger-Rauschabstände für eine BER von 10^{-3} zusammengestellt. In der dritten Kolonne sind die erforderlichen Abstände C/I_{ZS} der Träger zu den Interferenzsignalen aus Satellitendiensten angegeben, die die praktischen C/N-Werte (Kolonne 2) um 1 dB reduzieren.

6 Schlussbetrachtungen

Die vorgeschlagenen Verfahren zur Bestimmung der zulässigen Störpegel bzw. Träger-Störabstände bauen auf einfachen Modellen auf. Der Einfluss eines unerwünschten Signals aus einem fremden Dienst wird z.B. gleich betrachtet wie der Einfluss des weissen Rauschens. Diese Vereinfachung verursacht nur einen vernachlässigbaren Fehler für ein Nutzsignal mit einem Interferenzabstand, der den für eine Koordination gestellten Anforderungen genügt. Dies bedeutet für ein Nutzsignal in einem Bodenstationsempfänger, dass der Interferenzpegel aus den terrestrischen Diensten etwa 10 % des totalen Störpegels im Demodulator nicht übersteigen darf. Die theoretischen Untersuchungen in [3] über Interferenzeinflüsse auf CPSK-modulierte Signale zeigen, dass bei einem Interferenzpegel von 10 % des Störpegels die Art des Interferenzsignals (Weissrauschen, AM-, FM-Signale usw.) den gleichen Einfluss auf den Bitfehlerquotienten hat wie eine Störpegeländerung von etwa 0,2 dB.

Für den Satellitenrundfunk sind im Anhang 6 von [4] Schutzabstände zu den Signalen aus fremden Diensten angegeben, die bei einer Koordination angestrebt werden sollen. Die im vierten Kapitel beschriebenen Anforderungen weichen davon ab. Ein mit einem Videosignal modulierter FM-Träger benötigt einen grösseren Schutzabstand zu einem gleichen Inbandstörer als zu anderen Störsignalen. Nach den Untersuchungen, die in [20] veröffentlicht wurden, ist der erforderliche Störabstand näherungsweise umgekehrt proportional zum Quadrat des Hubes des Nutzsignals.

Bibliographie

- [1] Radio Regulations. Chapter III, Article 8, Section IV.
 [2] *Allsebrook K., D. Pictor and D. Salter.* Study of interferences in satellite communication systems. Volume 3: Study Report ESA Report Reference: ESA CR(P) 1338, Volume 1.
 [3] CCIR Report 388-5 (Vol. IV/IX).
 [4] Final Acts World Broadcasting-Satellite Administrative Radio Conference, WARC ORB 85 Geneva, 1985.
 [5] CCIR Recommendation 353-3 (Vol. IV).
 [6] CCIR Report 867 (Vol. IV).
 [7] CCIR Recommendation 522 (Vol. IV).
 [8] CCIR Report 555 (Vol. IV).
 [9] ESA Proposal for the Provision of a European Specialised Services Capability with the ECS Mission, Part one Technical Aspects.
 [10] EUTELSAT Doc. ACT 7 INF 1 Annex B to the Eutelsat II Procurement Contract.
 [11] CCIR Recommendation 353-3 (Vol. IV-1).
 [12] CCIR Recommendation 356-4 (Vol. IV/IX-2).
 [13] CCIR Recommendation 466-2 (Vol. IV-1).
 [14] CCIR Recommendation 558-2 (Vol. IV/IX).
 [15] CCIR Recommendation 523-2 (Vol. IV-1).
 [16] CCIR Recommendation 395-2 (Vol. IX-1).
 [17] CCIR Report 388-4 (Vol. IV and IX, Part 2).
 [18] *Glauner M.* Symbole und Bitfehlerwahrscheinlichkeiten von MQAM im idealen Nyquistkanal mit additivem gaußschem Rauschen, AEÜ, Archiv für Elektronik und Übertragungstechnik 37 (1983) 3/4 S. 123.
 [19] *Miya K.* Satellite Communications Engineering, Lattice Company, Tokyo, 1975.
 [20] CCIR Report 449-1 (Vol. IV/IX, Part 2).

Die nächste Nummer bringt unter anderem:

Vous pourrez lire dans le prochain numéro:

5/89

- | | |
|--------------|---|
| Vital J.-D. | Grundwasserabdichtung beim neuen Gebäude des Elektronischen Rechenzentrums der PTT |
| Burri R. | Réseau d'accès télématique avec processeurs de raccordement universels
Rete di accesso con processori di collegamento universali per servizi di telematica |
| Pitteloud J. | Das Getränk im OSI-Weinglas |
| Béguin C. | Kohärente optische Übertragung |
| Balmer U. | Neue mobile TV-Richtstrahlgeräte und ihr praktischer Einsatz bei den PTT-Betrieben |
-