

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe
Band:	68 (1990)
Heft:	8
Artikel:	Ausbreitungsverhältnisse auf einer 20-GHz-Satellitenstrecke
Autor:	Zbinden, Richard
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-876214

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: 24.01.2026

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

Ausbreitungsverhältnisse auf einer 20-GHz-Satellitenstrecke

Richard ZBINDEN, Bern

Zusammenfassung. Als Folge der steigenden Nachfrage nach Satellitenverbindungen ist man gezwungen, neue Frequenzbänder für die kommerzielle Nutzung zu erschliessen. Der Autor legt die Ergebnisse von Ausbreitungsmessungen dar, die zu diesem Zweck durchgeführt wurden. Die in einer Satellitenbodenstation empfangenen Signale müssen eine Mindestleistung aufweisen, die mit einem bestimmten Abstand über dem Rauschpegel liegt. Damit der Betrieb auch bei schlechtem Wetter möglich ist, sind bei der Projektierung der Satellitenbodenstation unter anderem die Einflüsse der Niederschläge zu berücksichtigen. Diese wirken sich bei 20 GHz wesentlich stärker aus als bei den bisher verwendeten tieferen Frequenzbändern. Zusätzlich muss hier die Dämpfung durch atmosphärische Gase und durch Wolken berücksichtigt werden.

Conditions de propagation sur un tronçon de transmission par satellite à 20 GHz

Résumé. La demande croissante de capacité de transmission des répéteurs de satellites nécessite la mise à disposition de nouvelles bandes de fréquences à usage commercial. L'auteur présente les résultats des mesures effectuées à cet effet en matière de propagation. Les signaux des satellites doivent atteindre la station terrière avec une puissance minimale, qui dépasse d'une certaine valeur le niveau de bruit. Afin que l'exploitation soit également possible par mauvais temps, il y a lieu, lors de la planification de la station terrière de tenir compte des précipitations, dont l'influence est nettement supérieure à 20 GHz que dans les bandes de fréquences utilisées jusqu'ici. En outre, il y a lieu de tenir compte de l'atténuation due aux gaz atmosphériques et aux nuages.

Condizioni di propagazione su una tratta via satellite a 20 GHz

Riassunto. La crescente richiesta di collegamenti via satellite obbliga a utilizzare nuove bande di frequenze per scopi commerciali. L'autore presenta i risultati delle misure di propagazione effettuate a tal fine. I segnali ricevuti nelle stazioni terrestri devono avere una potenza minima che superi di un determinato rapporto il livello del rumore. Affinché il funzionamento sia garantito anche con il cattivo tempo, bisogna tener conto degli influssi delle precipitazioni che sono maggiori a 20 GHz che alle bande inferiori finora utilizzate. Inoltre bisogna tener conto dell'attenuazione supplementare provocata da gas atmosferici e nuvole.

1 Einleitung

In der Satellitentechnik kommen zurzeit vor allem die Frequenzbänder in den Bereichen 4/6 und 12/14 GHz zur Anwendung. Diese werden durch den zunehmenden Verkehr bald vollständig belegt sein. Es ist deshalb absehbar, dass die Bänder bei 20 und 30 GHz in naher Zukunft eingesetzt werden müssen. Sie weisen eine vergleichsweise höhere Nutzbandbreite auf und ein weiterer Vorteil ist, dass man mit verhältnismässig kleinen Antennen einen grossen Gewinn erzielt. Ein Nachteil besteht jedoch darin, dass beispielsweise Regen und Schnee die elektromagnetischen Wellen beim Durchdringen der Atmosphäre stärker dämpfen als bei tieferen Frequenzen. Die mit dem Radiometer der Generaldirektion PTT (Forschung und Entwicklung) durchgeföhrten Ausbreitungsmessungen zeigen, wie stark die Satellitenstrecke durch die Wettereinflüsse beeinträchtigt wird.

2 Ausbreitungsmessungen, Wahl der Messmethode

21 Direkte Methode

Die Zusatzdämpfung der Atmosphäre lässt sich direkt mit einem unmodulierten Signal messen, das von einem Satelliten zur Test-Bodenstation gesendet wird und der momentanen Abschwächung des empfangenen Signalpegels entspricht. Voraussetzung für eine genügend genaue Messung ist, dass das gesendete Satellitensignal stabil ist und die Ausrichtung der Empfangsanenne ausreichend gut ist. Auch Fehler der Polarisationsebene (Schwingungsebene des Signals) können zu Ungenauigkeiten führen. Diese Methode hat den Vorteil, dass auch grosse Werte der Zusatzdämpfung noch gemessen werden können. Bis vor kurzem stand jedoch noch kein Satellit mit einem 20-GHz-Signal zur Verfügung, der in der

Gegend von Bern empfangen werden konnte. So war eine direkte Messung der atmosphärischen Zusatzdämpfung bisher nicht möglich. Seit kurzer Zeit werden jedoch die Ausbreitungsexperimente über den Olympus-Satelliten der ESA (European Space Agency) durchgeführt. Für diese Versuche ist eine 20/30-GHz-Bodenstation beschafft und auf dem Dach des Hochhauses der Direktion Forschung und Entwicklung aufgestellt worden.

22 Indirekte Methode mit dem Radiometer

Die Zusatzdämpfung der Atmosphäre ist auch indirekt messbar. Zwischen der Mikrowellenstrahlung der Atmosphäre und der thermischen Wärmestrahlung eines beliebigen Gegenstandes besteht eine Ähnlichkeit. Im Prinzip nimmt jeder Körper Wärmeenergie auf und gibt sie wieder an die Umgebung ab. Analog dazu empfängt die Atmosphäre von allen Seiten Rauschleistung im Mikrowellenbereich und strahlt sie wieder ab. Mit dem Radiometer wird die abgestrahlte Rauschleistung der Atmosphäre gemessen. Sie wird um so grösser, je höher die Zusatzdämpfung der Atmosphäre ist. Tabelle 1 gibt einige markante Wertepaare von Rauschleistung und Zusatzdämpfung wieder.

Das Radiometer besteht aus einer Parabolantenne, einem Empfänger und einer Auswerteeinheit. Figur 1 zeigt das Blockschema des Radiometers. Die Parabolantenne empfängt die von der Atmosphäre abgestrahlte Rauschleistung bei einer Frequenz von 20,2 GHz. Als stabile Rauschquelle mit bekannter Rauschleistung wird ein Mikrowellenwiderstand als Referenzlast RL benutzt. Der Empfänger wird mit einem Schalter alternierend mit der Antenne und mit der Referenz-Rauschleistungsquelle verbunden und das getaktete Signal anschliessend in eine Zwischenfrequenz von 70 MHz umgesetzt. Diese

Tabelle I. Umrechnung Himmelsrauscharmtemperatur in Zusatzdämpfung der Atmosphäre

Faktor der Abschwächung in der Atmosphäre	Abschwächungsfaktor in Dezibel (dB)	Himmelsrauscharmtemperatur
100 % ¹	0 dB	0 Kelvin
79 ²	1	54
63	2	97
50	3	131
32	5	179
10	10	236

¹ Das Signal wird in der Atmosphäre nicht abgeschwächt.

² Abschwächung des Signals: 79 % des Satellitensignals gelangen zur Bodenstationsantenne, dies entspricht einem Abschwächungsfaktor (= Zusatzdämpfung) von 1 dB bei einer Himmelsrauscharmtemperatur von 54 Kelvin.

sogenannte Dicke-Schaltung eliminiert Verstärkungsänderungen, die als Folge von Temperaturänderungen auftreten können. So sind auch geringe Rauschpegel mit genügender Sicherheit messbar.

Beim Radiometer ist die Messgenauigkeit für eine Zusatzdämpfung bis etwa 10 dB genügend. In den Darstellungen werden aus praktischen Gründen auch höhere Werte noch wiedergegeben, um den Bereich der Unterbrechungen von Verbindungen zu zeigen. Die Weiterverarbeitung des Signals geschieht in einem nachgeschalteten Gerät (Backend), das die geringen Leistungsunterschiede (Rauschleistungen des Himmels und der Referenzlast) auswertet und ein Ausgangssignal an den Computer abgibt, der die Messdaten speichert.

23 Indirekte Methode mit der Messung der Regenintensität

Die Zusatzdämpfung der Atmosphäre lässt sich auch aus der Messung der Regenintensität indirekt ermitteln. Die CCIR-Unterlagen ermöglichen es, die Dämpfungsstatistik aus der Regenintensitätsstatistik und weiteren Angaben zu berechnen. Die Grundlagen dazu sind in [3] und [5] beschrieben. Ausgangsgröße für die Berechnungen der Dämpfungsstatistik ist die Regenintensität bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,01

Prozent der Messzeit. Der Wert der Regenintensität kann mit Regenmessungen gewonnen oder aus [6] entnommen werden. Dort sind Werte für verschiedene Zonen der Welt enthalten.

3 Die Atmosphäre

31 Atmosphärische Schichten

Die Erdatmosphäre ist in verschiedene Schichten unterteilt. Die unterste Schicht ist die Troposphäre. Am Pol ist sie ungefähr 9 km und am Äquator 17 km dick. Darüber befinden sich die Stratosphäre und die Ionosphäre. Für die Signalstrecke Bodenstation—Satellit spielen sich die wichtigsten atmosphärischen Vorgänge im untersten Bereich der Troposphäre ab. *Figur 2* zeigt den Signalpfad von der Bodenstation zum Satelliten mit dem Bereich der Niederschläge. Diese bilden sich unterhalb der 0-Grad-Isotherme in einer Höhe von etwa 3200 Meter über Meer. Für die Schweiz werden die 0-Grad-Isothermen in den täglichen Wetterkarten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) veröffentlicht.

Außerdem wird zwischen dem Makro- und dem Mikroklima unterschieden. Das Makroklima spielt sich über weite Räume einigermaßen gleichmäßig ab. Im Gegensatz dazu ist das Mikroklima auf einen kleinen Bereich beschränkt, was allgemeine Aussagen über die Ausbreitungsverhältnisse erschwert.

32 Atmosphäre und Zusatzdämpfung

Bei 20 GHz hat die Zusatzdämpfung des Signals ihre Ursache in Niederschlägen (Regen und Nassschnee) sowie im Wasserdampf und Sauerstoff. Trockener Schnee hat bei dieser Frequenz keine dämpfende Wirkung. Über den Einfluss von Sand und Staub auf die Zusatzdämpfung ist noch wenig bekannt. Hagel tritt sehr selten auf und ist deshalb hier nicht von Bedeutung. Regenwolken allein ohne Niederschläge bewirken bei 20 GHz nur eine kleine Zusatzdämpfung von einigen Zehntel Dezibel. Dieser Wert ist jedoch in der Regel geringer als jener der durch die atmosphärischen Gase verursachten

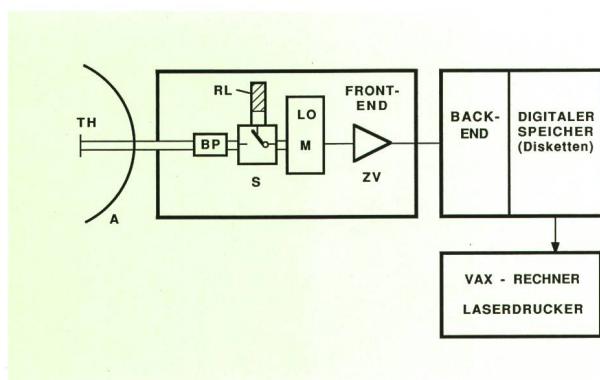


Fig. 1
Blockschema des Radiometers

- TH Himmelsrauscharmtemperatur
- A Antenne
- BP 20-GHz-Bandpassfilter
- S Schalter
- RL Referenzlast
- LO Lokaloszillator
- M 20-GHz/70-MHz-Mischer
- ZV 70-MHz-Zwischenfrequenzverstärker

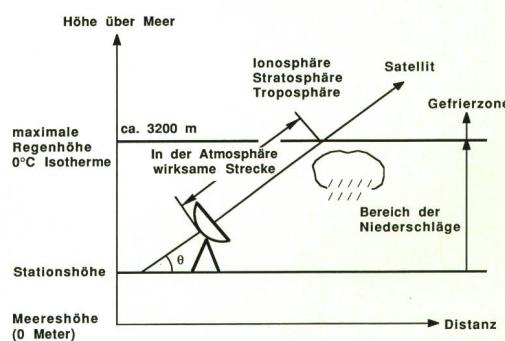


Fig. 2
Darstellung der Strecke Bodenstation-Satellit
θ Elevationswinkel der Bodenstationsantenne

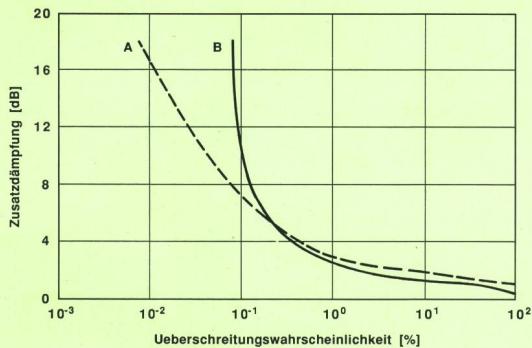


Fig. 3
Überschreitungswahrscheinlichkeit der Zusatzdämpfung

Messintervall: 23. 5. 1986 bis 3. 5. 1989

Frequenz: 20 GHz

Antennenelevation: 36 Grad

A Gemessene Werte

B Berechnete Werte gemäss CCIR-Modell

Ablesebeispiel: Während 1 Prozent ($10^0\%$) der Zeit wurde eine Zusatzdämpfung grösser als 2,6 dB gemessen

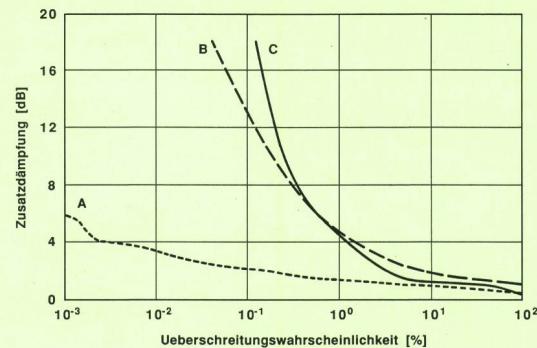


Fig. 4
Überschreitungswahrscheinlichkeit der Zusatzdämpfung für das Jahr 1986

A «Bester Monat»: November 1986, gemessene Werte

B «Schlechtester Monat» nach CCIR-Modell

C «Schlechtester Monat»: August 1986, gemessene Werte

Ablesebeispiel: Der «schlechteste Monat» im Jahr 1986 war der August, während 1 Prozent ($10^0\%$) der Zeit war die Zusatzdämpfung grösser als 4,5 dB

Dämpfung. Bei 30 GHz allerdings kann die von den Wolken hervorgerufene Zusatzdämpfung jene der atmosphärischen Gase übertreffen.

Da die Dichte der atmosphärischen Luftsichten unterschiedlich ist, werden die Radiowellen von einer Schicht zur andern abgelenkt. Luftturbulenzen verursachen Pegelschwankungen des empfangenen Signals, die als Szintillationen bezeichnet werden. Es werden typischerweise eine Szintillationsfrequenz von 1 Hz und eine Amplitude von 1 dB, maximal 3 dB, gemessen.

33 Das CCIR-Modell

Die Vorgänge in der Atmosphäre sind sehr vielfältig und veränderlich. Trotzdem können sie mit dem CCIR-Berechnungsmodell mit genügender Genauigkeit beschrieben werden [5]. Dieses liefert Statistiken der Zusatzdämpfung für den Frequenzbereich 10...30 GHz [2]. Die Näherungsformeln sind übersichtlich und lassen sich gut programmieren. Es wird die Zusatzdämpfung durch Niederschläge und atmosphärische Gase (Wasser dampf und Sauerstoff) berücksichtigt. Der Einfluss der Regenwolken allein (ohne Niederschläge) wird nur am Rande erwähnt.

4 Messergebnisse

41 Durchgeführte Messungen

Die Himmelsrauschleistung wird seit 1985 fortlaufend gemessen. Die seit 1987 auf einem VAX-Grossrechner digital gespeicherte umfangreiche Datenmenge wurde ausgewertet. Folgende Statistiken der Zusatzdämpfung und der Ereignisdauer sind erstellt worden:

- Gesamtstatistik von 1985 bis 1989
- Jahresstatistiken
- Monatsstatistiken
- Statistiken der Tageszeitabhängigkeit
- Statistiken der Ereignisdauer.

Aufgrund der ermittelten Werte wurden die Kurven der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Zusatzdämpfung aufgezeichnet (Fig. 3 und 4). Zum Vergleich dazu ist auch die aus [5] errechnete theoretische Kurve eingetragen, die auf dem CCIR-Modell der Atmosphäre beruht.

Aus Figur 3 geht zum Beispiel hervor, dass eine Abschwächung des Signals grösser als 2,6 dB während $p = 1\%$ des Messintervalls gemessen wurde. In der Praxis muss also eine Satellitenbodenstation eine Systemmarge besitzen, die dem Einfluss der atmosphärischen Zusatzdämpfung Rechnung trägt.

Seit einiger Zeit sind im Raum Bern fünf Regenmesserstationen in Betrieb, die auf einer Linie zwischen *Ulmizberg* und *Ittigen* angeordnet sind. Sie registrieren die Regenintensität in Funktion der Zeit. Die gewonnenen Daten werden gespeichert und ähnlich wie jene des Radiometers auf dem Rechner verarbeitet. Es lassen sich Statistiken der Regenintensität erstellen (Jahres-, Monatsstatistiken, Tageszeitabhängigkeit). Wie in Kapitel 44 beschrieben, können die zeitlichen Verläufe von Gewittern verfolgt werden. Beispielsweise stellt Figur 5 den Verlauf eines kurzen, starken Gewitters dar, das vom Regenmesser «Burgernziel» und vom Radiometer erfasst wurde.

42 Statistik des Jahres und der ganzen Messdauer

Die Statistik der ganzen verfügbaren Messdauer gibt, wie Figur 3 zeigt, die ausgeglichensten Mittelwerte der Zusatzdämpfung wieder. Die Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem CCIR-Modell. Einzig bei den sehr starken Ereignissen, die eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit (z. B. $p = 0,1\%$ von knapp drei Jahren, hier: Größenordnung 25 Stunden) aufweisen, zeigen die Werte einen Unterschied. Die Jahresstatistiken verhalten sich ähnlich.

43 Die Monatsstatistik

In den CCIR-Unterlagen findet sich der Begriff des «schlechtesten Monats». Dies ist meist ein gewitterreicher Sommermonat. Bei der Auswertung dieser Statistik zeigt sich eine verhältnismässig grosse Streuung. Der Unterschied zwischen dem schlechtesten und dem besten Monat innerhalb des gleichen Jahres ist sehr deutlich (Fig. 4). Das CCIR-Modell erlaubt es auch, die Statistik des «schlechtesten Monats» modellhaft zu berechnen.

44 Zeitliche Verläufe

Die zeitlichen Verläufe der Zusatzdämpfungen vermitteln einen Eindruck vom Ablauf der Gewitter. In der Regel kündigt sich die Gewitterfront zuerst mit einer leichten Erhöhung der Zusatzdämpfung an, bis dann die grosse Dämpfung eintritt. Figur 5 zeigt ein kurzes heftiges Gewitter vom 11. 6. 1988, das vom Regenmesser am Burgernziel und vom Radiometer erfasst wurde. Der Regenmesser am Burgernziel liegt in der Messrichtung der Radiometerantenne in anderthalb Kilometer Entfernung. Die Radiometerantenne hat einen Elevationswinkel θ von 36° und erfasst die Gewitterwolke deshalb nicht schlagartig, sondern kontinuierlich zunehmend. Der Regenmesser registriert sie in diesem Fall früher als das Radiometer.

45 Tageszeitliche Statistiken

Für den Betrieb einer Satellitenverbindung stellt sich auch die Frage, welche Tageszeiten für die Übertragung günstig oder ungünstig sind. Die Auswertung zeigt, dass über die Mittagszeit starke Gewitter wahrscheinlich sind. In dieser Tageszeit ist demnach mit einer eingeschränkten Qualität der Verbindung zu rechnen. Als günstig erweisen sich die Stunden abends und die Zeit um Mitternacht. Um die Mittagszeit sind beispielsweise starke Niederschläge rund zehn mal häufiger als um Mitternacht.

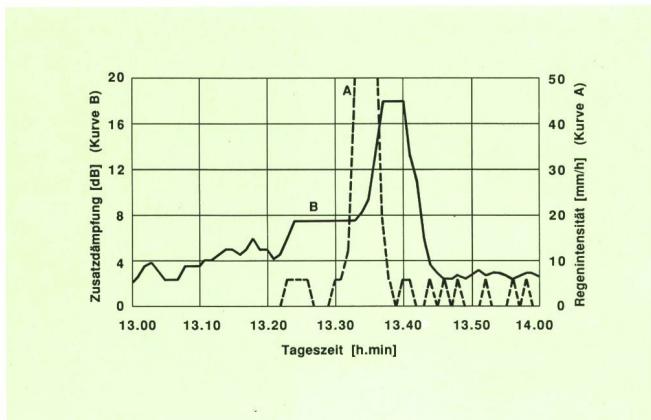


Fig. 5
Zeitlicher Verlauf des Gewitters vom 11. 6. 1988
Die Kurve A zeigt den zeitlichen Verlauf der Regenintensität bei der Regenmesserstation Burgernziel
Die Kurve B gibt den zeitlichen Verlauf der atmosphärischen Zusatzdämpfung gemessen durch das Radiometer wieder

46 Ereignisdauer

Die Dauer eines Ereignisses ist auch von Interesse. Ein Ereignis kann beispielsweise so definiert werden, dass die Zusatzdämpfung den Schwellwert von 5 dB überschreitet. Die Messungen zeigen, dass bei diesem Wert die Hälfte der Ereignisse höchstens drei Minuten dauert [4].

5 Schlussbemerkungen

Die Zusatzdämpfungswerte im 20/30-GHz-Frequenzband sind deutlich höher als bei den heute verwendeten Frequenzbändern. Dieser Umstand muss bei der Dimensionierung von Satellitenbodenstationen berücksichtigt werden. Die digitale Auswertung der Radiometermessungen zeigt, dass während einem Prozent der Messzeit von knapp drei Jahren die Zusatzdämpfung grösser als 2,6 dB ist. Außerdem wurde festgestellt, dass während 0,2 Prozent der Zeit die Zusatzdämpfung grösser als 6 dB ist. Diese Ergebnisse fallen etwas schlechter aus, als sie nach dem CCIR-Modell vorausgesagt werden. Im allgemeinen ist die Übereinstimmung gut. Ähnlich verhält es sich mit den Resultaten für den «schlechtesten Monat». Der schlechteste Monat ist meist Mai, Juni, Juli oder August. Der Januar ist dagegen für die Übertragung günstig. In den Frequenzbändern bei 20 und 30 GHz kommen neu auch Zusatzdämpfungsanteile, verursacht durch atmosphärische Gase (Wasserdampf und Sauerstoff), hinzu. Diese sind auch bei schönem Wetter vorhanden. Weiter muss der Beitrag an die Zusatzdämpfung durch Regenwolken (ohne Niederschläge) berücksichtigt werden.

Die Statistiken zeigen, dass die Kurven bei Zusatzdämpfungen über 6 dB stark ansteigen. Die Verfügbarkeit einer Station nimmt kaum mehr zu, wenn eine grössere Systemreserve als 6 dB eingeplant wird.

Bibliographie

- [1] Zbinden R. Bau und Eichung eines 20-GHz-Radiometers. PTT-Bericht VD 33.1105 U, 1986.
- [2] Zbinden R. Modell zur Abschätzung der atmosphärischen Zusatzdämpfung von Satellitenverbindungen im Frequenzbereich 10 bis 30 GHz, PTT-Bericht VD 33.1156 U, 1989.
- [3] Zbinden R. Computerprogramm für die Abschätzung der Ausbreitungsverhältnisse von Satellitenverbindungen (10 bis 30 GHz), PTT-Bericht VD 33.1169 U, 1989.
- [4] Zbinden R. Dämpfungsstatistik einer 20-GHz-Satellitenstrecke, Auswertung der Radiometermessungen auf dem TZV 1986–1989, Bericht VD 33.1172 U, 1989.
- [5] CCIR Report Nr. 564-3, Propagation Data and Prediction Methods Required for Earth-Space Telecommunication Systems, XVIth Plenary Assembly Dubrovnik, 1986, Vol. V, p. 389.
- [6] CCIR Report Nr. 563-3, Radiometeorological Data, XVIth Plenary Assembly Dubrovnik, 1986, Vol. V, Table I, p. 131.
- [7] Ortigies G., Rücker F. and Dintelmann F. Statistics of Clear-Air Attenuation on Satellite Links at 20 and 30 GHz, Electronics Letters 15th March 1990, Vol. 26, Nr. 6, p. 358.
- [8] Ortigies G. and Dintelmann F. Semiempirical Model for Cloud Attenuation Prediction, Electronics Letters 26th October 1989, Vol. 22, Nr. 22, p. 1487.
- [9] Boithias L. Radio Wave Propagation, North Oxford Academic UK, 1987.