

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:	62 (1984)
Heft:	12
Artikel:	Erste schweizerische digitale Nord-Süd-Richtfunkverbindung für Datenübertragung mit einer Bitrate von 34 Mbit/s
Autor:	Liniger, Markus / Jordi, Peter / Gysel, Ulrich
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-875812

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: 12.01.2026

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

Erste schweizerische digitale Nord-Süd-Richtfunkverbindung für Datenübertragung mit einer Bitrate von 34 Mbit/s

Markus LINIGER, Peter JORDI, Jean STULZ, Bern, und Ulrich GYSEL, Zürich

Zusammenfassung. Eine Richtfunkverbindung für Datenübertragung wurde zwischen Lugano und Zürich in Betrieb genommen. Dank des redundanten 1+1-Systems können 34 Mbit/s mit grosser Zuverlässigkeit übertragen werden. Der nachfolgende Aufsatz beschreibt die Planungsgrundlagen für die Verbindung, die verwendeten Geräte und ihre elektrischen Eigenschaften und die Erfahrungen während des einjährigen Versuchsbetriebes.

Première liaison Nord-Sud à faisceaux hertziens pour transmissions de données à 34 Mbits/s

Résumé. Une liaison pour transmission de données par faisceaux hertziens a été mise en exploitation entre Lugano et Zürich. Grâce au système redondant 1+1, il est possible de transmettre des données à la vitesse de 34 Mbit/s avec une grande fiabilité. L'article est consacré aux documents de planification pour la liaison, aux appareils utilisés et à leurs propriétés électriques, ainsi qu'aux expériences faites pendant l'essai d'exploitation d'une année.

Primo ponte radio digitale svizzero sull'asse nord-sud per la trasmissione di dati alla velocità di 34 Mbit/s

Riassunto. Tra Lugano e Zurigo è stato messo in esercizio un collegamento in ponte radio per la trasmissione di dati. Grazie al sistema ridondante 1+1 è possibile trasmettere con alta affidabilità alla velocità di 34 Mbit/s. L'articolo descrive le basi per la pianificazione del collegamento, gli equipaggiamenti utilizzati e le loro caratteristiche elettriche, e le esperienze fatte durante la prova d'esercizio di un anno.

1 Einleitung

Die erste schweizerische digitale Nord-Süd-Richtfunkverbindung wurde im Jahre 1982 zwischen Zürich und Lugano gebaut. Während des ersten Jahres stand sie für Systemuntersuchungen und für die Überprüfung der Forderungen in bezug auf die Verfügbarkeit und die Qualität zur Verfügung.

Die Verbindung wurde für die Übertragung von 34,368 Mbit/s geplant und verwirklicht. Trotzdem sind einige der im folgenden beschriebenen Ergebnisse auf dieselben oder ähnliche Teilstrecken übertragbar, auch wenn künftig vermehrt die nächsthöhere Bitrate gewählt wird.

2 Frequenzwahl und Streckenführung

Für die Wahl der Streckenführung dieser Richtfunkverbindung mussten vor allem die Planungsgrundlagen des künftigen digitalen Richtfunknetzes auf der Fernnetzebene mit einer Übertragungskapazität von mehreren 34 oder 140-Mbit/s-Bündeln berücksichtigt werden. Außerdem musste die Kompatibilität des bestehenden analogen Richtfunknetzes mit einem künftigen digitalen Richtfunknetz untersucht werden. Der Grund dafür ist die grössere Störempfindlichkeit analoger Systeme in Verbindung mit der verhältnismässig starken Störwirkung digitaler Systeme infolge ihres breiten Sendespektrums. Aus wirtschaftlichen Gründen wie auch wegen Problemen der Verfügbarkeit wurde eine Streckenführung mit je zwei etwa 100 km langen hintereinandergeschalteten Funkfeldern zwischen schon bestehenden Standorten gewählt (Fig. 1 und 2).

Neue CCIR-Empfehlungen erlauben die Belegung der Frequenzbänder 3,9, 6,8 und 11 GHz, die sehr ähnliche Frequenzraster aufweisen, mit Systemen der dritten und vierten CCITT-Hierarchie (34 und 140 Mbit/s). Aus diesen Möglichkeiten wurde aus weiter unten erläuterten Gründen die Kombination des 3,6- und des 11-GHz-Bandes gewählt. Auf den zwei redundanten, sich gegenseitig schützenden Kanälen werden in einer Richtung 34 Mbit/s übertragen. Sollte später eine höhere Modulationsart, z. B. 16- oder 64stufige Quadratur-Amplitudemodulation (16-QAM, 64-QAM), verwendet werden, so stehen in den vorhandenen Frequenzbändern insgesamt 28 × 140 Mbit/s Kanalpaare zur Verfügung.

3 Planung der Verfügbarkeit und der Qualität

3.1 Anforderungen

Die Verfügbarkeit und die Qualität einer digitalen Richtfunkverbindung wird international durch Empfehlungen des CCIR durch folgende, zum Teil noch provisorische Kriterien festgelegt:

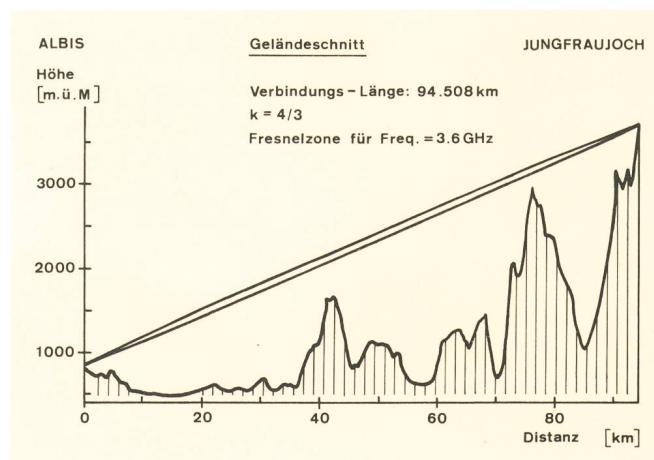


Fig. 1
Geländeschnitt Albis-Jungfraujoch

Tabelle I. Frequenzraster für digitale Übertragung

Frequenzband	3,9 GHz	6,8 GHz	11,2 GHz
Kanalabstand	40 MHz	40 MHz	40 MHz
Mittellücke	80 MHz	60 MHz	90 MHz
Kanalpaare	9	8	11
Modulationsart	16 QAM	16 QAM	16 QAM

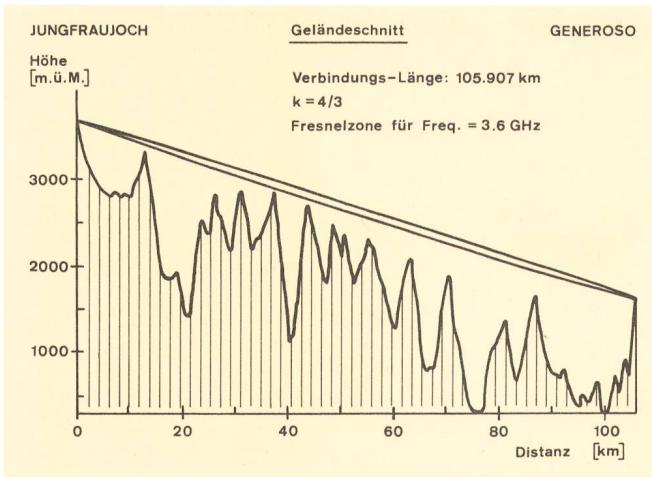


Fig. 2
Geländeschnitt Jungfraujoch-Mte Generoso

- Die Planungswerte gelten für den sogenannten «Hypothetischen Referenzpfad», der eine Länge von 2500 km aufweist [CCIR Rec. 390-4, Rec. 556].
- Die Verbindung ist nicht verfügbar, wenn während mehr als 10 s in einer oder in beiden Richtungen die Bitfehlerquote $\geq 10^{-3}$ ist oder das Datensignal gänzlich fehlt. Die Verbindung soll während 99,7 % der Zeit verfügbar sein (provisorischer Wert, zur Diskussion stehen Werte zwischen 99,5...99,9 %) [CCIR Rec. 557].
- Die verfügbare Verbindung muss folgende Qualitätskriterien einhalten [CCIR Rec. 594 MOD I]:
 - Bitfehlerquote $\geq 10^{-6}$ während nicht mehr als 0,4 % der Zeit eines Monates (Integrationsintervall = 1 min)
 - Bitfehlerquote $\geq 10^{-3}$ während nicht mehr als 0,054 % der Zeit eines Monates (Integrationsintervall = 1 s).

Neben diesen Empfehlungen des CCIR bestehen auch jene des CCITT. In der Empfehlung G. 821 sind die Anforderungen an eine 25 000 km lange Verbindung festgelegt. Sie gelten für einen Kanal mit einer Bitrate von 64 kbit/s:

- mindestens 90 % der 10-Minuten-Intervalle weisen weniger als 39 Fehler auf
- mindestens 99,8 % der 1-Sekunden-Intervalle weisen weniger als 64 Fehler auf
- mindestens 92 % der 1 Sekundenintervalle sind fehlerfrei.

Eine grössere Anzahl zusätzlicher Annahmen und Fussnoten ergänzen diese Grenzwerte.

Basierend auf den Grundforderungen des CCIR und des CCITT wurde für einen «schweizerischen hypothetischen Referenzpfad» der Länge 280 km das Störbudget auf die möglichen Störquellen verteilt. Nach G. 821 soll beim Aufteilen des Störbudgets auf kürzere Strecken der Prozentsatz der Zeit und nicht die Bitfehlerquote unterteilt werden. Weil die Empfehlungen der beiden Kommissionen noch nicht in allen Details aufeinander abgestimmt sind, mussten beim Festlegen der Planungswerte die Unterschiede berücksichtigt werden:

- Nichtverfügbarkeit 10^{-4}
Dieser Wert ist wegen der Kompatibilität mit Kabelverbindungen dreimal strenger als jener des CCIR.

- Qualität (gilt für verfügbare Verbindung)
- Bitfehlerquote $\geq 10^{-3}$
- während weniger als $4 \cdot 10^{-6}$ der Zeit eines Monats ohne störende Ausbreitungseffekte
- während weniger als $5 \cdot 10^{-5}$ der Zeit eines Monats mit störenden Ausbreitungseffekten
- Bitfehlerquote $\geq 10^{-6}$
während weniger als $4 \cdot 10^{-4}$ der Zeit eines Monats.

32 Technische und naturbedingte Grenzen, Systemwahl

Die obenstehenden Forderungen sollten nun möglichst preisgünstig und frequenzökonomisch erfüllt werden. Der Planer muss sich aber auch mit ernsthaften geräte-technischen und naturbedingten Problemen (Wellenausbreitung) befassen, die im folgenden kurz erläutert sind:

- Die vorgeschriebene Verfügbarkeit kann nur mit einer redundanten Verbindung eingehalten werden. Zahlenwerte, die auf Statistiken über das bestehende schweizerische TF-Netz beruhen, bestätigen dies unter der Annahme, dass die mittlere Zeit zwischen Störungen MTBF und die Reparaturstrategie nicht wesentlich ändern [1, 2].
- Starke Niederschläge beeinträchtigen Funkverbindungen durch zusätzliche Dämpfung des Signals. Die Dämpfung, gemessen in dB, wächst in erster Näherung proportional mit dem Quadrat der Frequenz und kann bei langen Teilstrecken $d > 70$ km und Frequenzen über 5 GHz einen Verbindungsunterbruch hervorrufen [3, 4].
- Während stabiler, windarmer Wetterlage bilden sich Inversionsschichten in der Atmosphäre, die Mehrwegausbreitung ermöglichen. Die Überlagerung der Signale am Empfangsort führt zu mehr oder weniger selektiven Schwunderscheinungen. Flache Fadings stören, wenn das Signal/Geräusch-Verhältnis unter eine systembedingte Schwelle sinkt, selektive Fadings, wenn die linearen Verzerrungen des Empfangssignals zu gross werden. Diesen Störungen kann einerseits durch die Verwendung von Frequenz-, Frequenzband- oder Raumdiversityempfang begegnet werden [5, 8, 9, 10]. Anderseits werden die Empfangsgeräte durch die Verwendung von automatischen adaptiven Entzerrern widerstandsfähiger gegen Ausbreitungsverzerrungen.

Die Auswertung dieser Fakten leitet zu verschiedenen Lösungsmöglichkeiten:

- Verbindung in einem Frequenzband < 7 GHz mit einem Schutzkanal im selben Band gegen Geräteausfälle und Raumdoppelempfang zur Bekämpfung der Störungen infolge Mehrwegausbreitung. Der Schutz gegen Gerätestörungen könnte allenfalls auch durch sogenannte «hot- oder cold-stand-by»-Anlagen erzielt werden.
- Verbindung in einem Frequenzband < 7 GHz mit einem Schutzkanal gegen Geräteausfälle und Störungen infolge Mehrwegausbreitung in einem Frequenzband > 10 GHz.

Beide Lösungen weisen Vor- und Nachteile auf. Stark ins Gewicht fällt der hohe Preis der Antenneninstallatioen auf den schweizerischen Höhenstandorten, der gegen den Raumdoppelempfang spricht. Außerdem ist

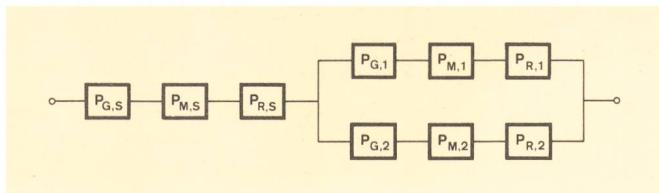


Fig. 3
Zuverlässigkeitsschaltbild einer 1+1-Verbindung

$P_{G,S}$	Wahrscheinlichkeit für simultanen Geräteausfall
$P_{M,S}$	Wahrscheinlichkeit für simultanen Unterbruch infolge Mehrwegschwunds
$P_{R,S}$	Wahrscheinlichkeit für simultanen Unterbruch infolge Regenschwunds
$P_{G,1}, P_{G,2}$	Wahrscheinlichkeit für Geräteausfall im Kanal 1 bzw. Kanal 2
$P_{M,1}, P_{M,2}$	Wahrscheinlichkeit für Unterbruch infolge Mehrwegschwunds im Kanal 1 bzw. Kanal 2
$P_{R,1}, P_{R,2}$	Wahrscheinlichkeit für Unterbruch infolge Regenschwunds im Kanal 1 bzw. Kanal 2

das 11-GHz-Band in der Schweiz stark durch Niederschläge gestört, kann also für längere Verbindungen nicht oder nur mit reduzierter Verfügbarkeit eingesetzt werden. Aus diesen Gründen wurde für die vorliegende Verbindung die Kombination des 3,6- und des 11-GHz-Bandes gewählt.

33 Modell der Verbindung

Eine ausführliche Beschreibung des Modells wurde in [2] vorgestellt. An dieser Stelle sollen deshalb nur noch die wichtigsten Grundsätze und die vorausgesagten Eigenschaften in bezug auf die Verfügbarkeit und die Qualität der Verbindung wiederholt werden.

Als Grundlage dient ein Boolesches Modell (Fig. 3), das aus Zweipolen zusammengesetzt ist, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit unterbrochen oder durchgeschaltet sind.

Wir unterscheiden serielle Elemente, die gestört, die Verbindung zwischen A und B unterbrechen, und parallele Glieder, die nur in Verbindung mit einer gleichzeitigen Störung im Parallelzweig einen Unterbruch bewirken.

Alle anlagetechnischen und personellen Einflüsse sind in den Elementen P_G zusammengefasst, alle ausbreitungsbedingten in P_R (Regen) und P_M (Mehrwegausbreitung).

Wie früher gezeigt [2], setzen sich die einzelnen Zweipole P_G aus den Beiträgen aller Stationen zusammen, den Relaisstationen und den Terminals. Diese sind weiter aufgeschlüsselt in die «Elementarbauteile» wie Sender, Empfänger, Modulator oder Umschalter. Am Beispiel einer Duplex-Relaisstation soll das verfeinerte Modell erläutert werden (Fig. 4).

Sie enthält vier Sender-Empfänger, zwei Stromversorgungen, personelle Einflüsse und Verschiedenes. Die zugehörigen Erfahrungswerte über die Nichtverfügbarkeit und die mittlere Zeit für die Fehlerbehebung sind in der Tabelle II zusammengestellt. Sie beruhen auf Unterhaltsstatistiken über bestehende moderne FM-Anlagen und gelten unter der Annahme einer sofortigen Störungsbehebung bei Totalausfällen (Serieelement gestört) und einer langsameren, kostengünstigeren Reaktion bei Teilausfällen (Parallelement gestört).

Tabelle II. Nichtverfügbarkeit und mittlere Reparaturzeit

Klasse X	Symbol	$U_{X,S} \cdot 10^{-6}$	$U_{X,P}$	MTTR _{X,S}	MTTR _{X,P} in Minuten
Basisbandausrüstung	B	13	26	89	159
Modem	M	0.5	150	40	300
Sender + Empfänger	SE	0.35	1000	37	442
Stromversorgung (je Station)	S	2.1	40	37	443
Fehlbedienung (je Station)	P	6.3	*	18	0*
Verschiedenes wie Antennen, Blitzschlag, unbekannte Gründe (je Station)	V	3.6	14	28	123

* Fehlmanipulationen, die zu Teilausfällen führen, werden verständlicherweise nicht gemeldet; ihre Dunkelziffer dürfte aber recht hoch sein.

Mit Hilfe der Methoden der Verfügbarkeitsberechnung zusammengefasst wurden $P_{G,S} \approx 9 \cdot 10^{-5}$ und $P_{G,1} \approx P_{G,2} \approx 8 \cdot 10^{-3}$ prognostiziert.

Der Einfluss von Niederschlägen ist bei Frequenzen unter 5 GHz vernachlässigbar. Somit werden $P_{R,S} = 0$ und $P_{R,1} = 0$. Das verbleibende Element $P_{R,2}$, d. h. die Unterbruchswahrscheinlichkeit für die gesamte Verbindung im 11-GHz-Band, wird dann in einem Sommermonat einen Wert zwischen 10^{-3} und 10^{-2} annehmen. Eine exaktere Beschreibung, die auch die verschiedenen Klimata der Schweiz berücksichtigt, ist in [3] zu finden.

Mehrwegausbreitungseffekte beeinflussen in mannigfacher Weise die Mikrowellenausbreitung:

- das Signal kann so stark abgeschwächt werden, dass die Grenzempfindlichkeit des Empfängers erreicht wird (sogenannter flacher Schwund).
- die Abschwächung ist selektiv, das heißt das Signal wird linear verzerrt. Die Folgen sind Intersymbolinterferenz oder sogar Verlust der Synchronisation.
- Schwunderscheinungen im Nutzkanal bei gleichbleibendem oder erhöhtem Störsignal von Nachbarkanälen oder gleichfrequenten Verbindungen auf anderen Strecken führen zu rauschähnlichen Störungen.

Auf eine detaillierte Beschreibung der oben erwähnten Effekte muss an dieser Stelle verzichtet werden. In ausführlicher Weise wurden aber in [5] Statistiken über Schwunderscheinungen, gemessen mit unmodulierten Trägern, und mögliche Gegenmassnahmen wie Raum- und Frequenzdiversityempfang veröffentlicht. Zum Problem der selektiven Schwunderscheinungen erschienen in den letzten Jahren zahlreiche Publikationen [8, 9, 10, 11], die provisorische Angaben zum Ausmass der Ver-

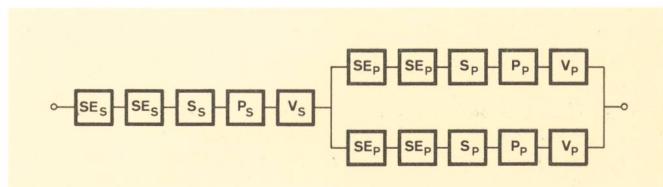


Fig. 4
Zuverlässigkeitsschaltbild einer Duplex-Relaisstation (Bedeutung der Abkürzungen siehe Tab. I)

zerrungen wie auch zu den notwendigen Geräteeigenschaften enthalten. In einem ausgebauten Netz fallen außerdem die Störungen durch Gleich- und Nachbarkanäle ins Gewicht. Ihr Einfluss hängt stark mit den Eigenschaften der verwendeten Antennen und der Schwundtätigkeit auf der betrachteten Strecke zusammen. Einige Zahlenwerte zum Problem der Gleich- und Nachbarkanalstörung sind in [12] zu finden.

Prognostiziert wurde für die gesamte Verbindung aufgrund von [5] – damals noch ohne Unterlagen zum Problem selektiver Schwunderscheinungen – unter der Annahme einer ausnutzbaren Schwundmarge von 35 dB eine Teilausfallwahrscheinlichkeit von $P_{M,1} \approx P_{M,2} \approx 5 \cdot 10^{-4}$. Die Wahrscheinlichkeit für einen Totalunterbruch wurde mit $4 \cdot 10^{-6}$ geschätzt (etwa 10 s je Monat), verteilt auf 10 Ereignisse. Diese Werte sind im vorliegenden Fall eher pessimistisch, weil auf den steilen Teilstrecken Generoso–Jungfraujoch bzw. Jungfraujoch–Albis die Mehrwegausbreitungseffekte während des Sommers auftreten, der weniger lange stabile und windarme Wetterlagen aufweist als Herbst und Winter.

Der Vergleich der unter 33 vorgestellten Voraussagen mit den internationalen Anforderungen ist zufriedenstellend – das vorgeschlagene Konzept sollte den CCIR-Empfehlungen genügen.

4 Geräteaufbau und Eigenschaften

Das gesamte Richtfunksystem lässt sich, wie *Figur 5* zeigt, von der Geräteseite her in die fünf wesentlichen Teile Modem, Sender/Empfänger für 3,6 GHz und 11 GHz, Umschalter mit Steuerung und Dienstkanalausrüstung gliedern. Nachfolgend sind die Geräteteile kurz beschrieben. Eine eingehendere Behandlung findet man in [6].

41 Modem

Das Modem, bestehend aus dem Modulator und Demodulator, erzeugt aus dem ankommenden 34-Mbit/s-Da-

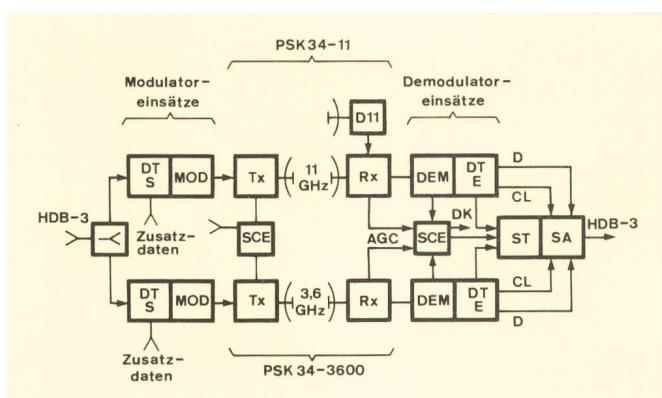


Fig. 5		Blockschema des digitalen Richtfunksystems (1+1)	
ST	Steuerung	DTS	Datenteil Sender
SA	Umschalter	DTE	Datenteil Empfänger
DII	Raumdiversity	SCE	Dienstkanal und Fernübertragung
DK	Dienstkanal	Tx	Sender
D	Daten	MOD	Modulator
CL	Takt	DEM	Demodulator
Rx	Empfänger	- - a)	

tensignal ein Offset-QPSK-moduliertes Zwischenfrequenzsignal von 70 MHz bzw. demoduliert das empfangene ZF-Signal und liefert wieder das ursprüngliche Datensignal. Im Blockschaltbild von Figur 5 ist der Modulator noch weiter unterteilt in einen «Datenteil Sender» und den eigentlichen Modulator. Der «Datenteil Sender» enthält die Schaltkreise der Basisbandschnittstelle. Dazu gehören ein Verstärker, die Taktleitung, die Regeneration der empfangenen Daten und die Codewandlung vom Leitungscode HDB-3 in den intern verwendeten NRZ-Code. Im Modulator werden den Nutzdaten in einem sogenannten Rahmen zusätzliche Daten hinzugefügt. Die Hauptfunktionen des Rahmens sind: Sicherung der Transparenz, Fehlerratenüberwachung, Übertragung von 6 digitalen Dienstkanal-Signalen und Kanalerkennung. Transparenz bedeutet, dass die Übertragung mit jeder beliebigen Bitkombination am Eingang funktioniert. Ohne Rahmen ist die Transparenz nicht voll gewährleistet. Die Rahmeninformation wird mit einem Multiplexer in Blöcken von 10 Zusatzbits nach je 537 Nutzbits eingefügt. Auf den Multiplexer folgt ein Verwürfler (Scrambler), der diskrete Spektrallinien im Ausgangsspektrum verhindert, indem er den Daten Zufallscharakter verleiht. Bei fehlendem Eingangssignal werden die Nutzbits durch das AIS (Alarm Indication Signal) ersetzt.

Da bei der OQPSK-Modulation die absolute Phaseninformation verlorengeht, werden die zu übertragenden Daten vor der eigentlichen Modulation differentiell codiert. Das Sendespektrum wird weitgehend durch ein ZF-Filter im Modulatoreinsatz bestimmt. Dieses Filter wurde so dimensioniert, dass es zusammen mit dem Filter im Demodulator ein Cos-Rolloff-Filter mit dem charakteristischen Parameter $\alpha = 0,85$ annähert.

Der Demodulator besteht, analog zum Modulator, aus dem eigentlichen Demodulator und einem «Datenteil Empfänger». Im eigentlichen Demodulator wird das ZF-Signal kohärent demoduliert. Nach einer Tiefpassfilterung (zweite Hälfte des Cos-Rolloff-Filters) wird der Takt abgeleitet, und die Daten werden regeneriert. Nach der differentiellen Codierung folgen im «Datenteil Empfänger» jene Schaltkreise, die die Umkehrung der entsprechenden Funktionen des «Datenteils Sender» ausführen. Der Demodulator enthält zwei getrennte Ausgänge für die Daten und den Takt, die beide an den Umschalter weitergeleitet werden. Daneben verfügt der Einsatz aber auch über einen direkten HDB-3-Ausgang.

Die Überwachung der Übertragungsqualität geschieht vorwiegend über die Rahmeninformation. Mit jedem Zusatzblock wird im Modulator ein Paritätsbit eingefügt, das sich auf die vorhergehenden 537 Nutzbits bezieht. Dieses Paritätsbit wird im Demodulator ausgewertet und erzeugt bei einer Paritätsbitverletzung den Fehlerimpuls. Dieser wird einerseits im Demodulator direkt zur Alarmierung (Demodulatoralarm) von Fehlerquoten grösser als 10^{-3} ausgewertet. Anderseits werden die Fehlerimpulse zusätzlich an die Steuerung des Umschalters weitergeleitet, wo sie, je nach Priorität, direkt eine Umschaltung bewirken. Der Empfang eines Signals mit falschem Leitungskennwort und der Verlust der Rahmensynchronisation führen ebenfalls zu einem Demodulatoralarm.

42 Sender-Empfänger 3,6 GHz

Das Richtfunkgerät vom Typ PSK 34-3600 arbeitet im Band von 3,4 bis 3,8 GHz. In seinem Aufbau ist es ähnlich dem FM-Gerät vom Typ FM 1800/TV-4000 von Standard Telephon & Radio (STR) [7]. Das Gerät unterscheidet sich nur in einigen wenigen Punkten von konventionellen FM-Geräten für die Übertragung von 1800 Telephoniesignalen. Der digitale Sender enthält als wesentlichsten Unterschied einen linearen FET-Leistungsverstärker. Dieser gibt beim 1-dB-Ausgangskompessionspunkt noch eine Leistung von 1 W ab. Die AM-PM-Konversion in diesem Punkt ist kleiner als $1^\circ/\text{dB}$.

Mit diesem linearen Verstärker wird das Sendespektrum infolge Sättigung nur wenig verbreitert.

Der Empfänger besitzt im Vergleich zum FM-Gerät eine um 10 dB grösere Verstärkung im ZF-Vorverstärker. Damit verschiebt sich der AGC-Bereich zu tieferen Eingangsspegeln und fällt am untern Ende mit dem Empfangspegel für eine Fehlerquote von 10^{-3} zusammen.

43 Sender-Empfänger 11 GHz

Das 11-GHz-Richtfunkgerät vom Typ PSK 34-11 entspricht bis auf eine um 5 dB reduzierte Sendeleistung und eine ebenfalls grösse ZF-Verstärkung im Empfänger dem analogen Gerät FM 1800/TV-11 von STR. Da die in diesem Gerät zum Einsatz gelangende Wanderfeldröhre im Bereich der Sättigung eine starke AM-PM-Konversion aufweist, ist beim Sender eine Leistungsrücknahme (backoff) um 5 dB notwendig, um die Verschlechterung der Fehlerrate wegen den nichtlinearen Verzerrungen auf einen Wert unter 0,5 dB zu senken.

44 Basisbandumschalter

Der Basisbandumschalter besteht aus dem eigentlichen Umschalter SA und der Steuerung ST. Die sendeseitige Aufteilung des ankommenden Basisbandsignals auf die zwei Modulatoren geschieht im Umschalter. Empfangsseitig werden die Signale beider Demodulatoren getrennt nach Daten und Takt dem Umschalter zugeführt. Dieser hat zur Hauptaufgabe, eines der beiden Signale an den Ausgang durchzuschalten.

Anschliessend wird das durchverbundene Binärsignal in den HDB-3-Code umgesetzt und über eine Normschnittstelle an die Leitung abgegeben.

Jedem der beiden ankommenden Signalpfade sind ein achtstufiges einstellbares Schieberegister und ein 8 Bit breiter, elastischer Speicher zugeordnet. Die einstellbaren Schieberegister dienen dem festen Längenausgleich, wie er durch unterschiedliche Leitungsführung zwischen den zwei Richtfunkgeräten entsteht. Mit den elastischen Speichern werden automatisch variable Phasenverschiebungen ausgeglichen. Dazu wird der elastische Speicher des durchgeschalteten Pfades in der Mittelstellung festgehalten. Jener des nicht durchgeschalteten Pfades wird so lange verschoben, bis Bitsynchronität besteht. Letztere wird durch einen Bit-für-Bit-Vergleich bestimmt. Werden mehr als 16 (bzw. 32) nicht übereinstimmende Bits aus einer Gesamtzahl von 512 Bits festgestellt, so wird «Nicht-Synchronität» angenommen. Dieser Alarm löst einerseits eine Verschie-

bung des elastischen Speichers des nicht durchgeschalteten Pfades um 1 Bit aus in der Annahme, die beiden Datenströme seien allenfalls gegeneinander zeitlich verschoben. Anderseits wird dieser Alarm an die Steuerung weitergeleitet. Bei Synchronität schaltet der Umschalter ohne Bitfehler vom einen auf den anderen Kanal um.

Die Steuerung enthält alle Elemente für die Steuerung, Bedienung und Überwachung des Umschalters.

Im ganzen werden 6 Kriterien für die Umschaltung ausgewertet. Folgende Aufstellung zeigt diese geordnet nach absteigender Priorität:

- Handsteuerbefehl «Sperren» (1. Priorität)
- Fehlermeldungen
- Handsteuerbefehl «Umschalten»
- Bitfehlerauswertung
- AGC-Schwelle 2
- AGC-Schwelle 1

Die Handsteuerbefehle erlauben, den gewünschten Kanal manuell zu wählen. Während beim Befehl «Sperren» der momentan aktive Kanal festgehalten wird, bewirkt der Befehl «Umschalten» einen vorgängigen Kanalwechsel. Letzterer ist nur möglich, wenn in dem Kanal, auf den umgeschaltet werden soll, keine Fehlermeldungen vorliegen. Nach einer Umschaltung und anschliessendem Sperren hat dieser Befehl aber auch 1. Priorität. Fehlermeldungen stammen entweder von den Demodulatoren (BER 10^{-3} , Gerätedefekt, fehlende Rahmensynchronisation) oder zeigen fehlende Eingangssignale am Umschalter an. Als viertes Kriterium werden die von den Demodulatoren gelieferten Fehlerimpulse weiterverarbeitet. Tritt innerhalb eines Zeitintervalls von 150 ms in keinem Kanal ein Bitfehler auf, so wird beim nächsten auftretenden Fehlerimpuls in den vermutlich besseren Kanal umgeschaltet. Treten jedoch innerhalb der gleichen Zeitspanne in beiden Kanälen Fehler auf, so wird nach einem Vergleich mit Zählketten der bessere Kanal ausgewählt.

Die beiden Kriterien mit der niedrigsten Priorität werden aus der AGC-Spannung des ZF-Hauptempfängers abgeleitet. Mit diesen Schwellen, die in weiten Grenzen eingestellt werden können, sollen Schwundereignisse frühzeitig erfasst werden. Insbesondere soll damit selektivem Schwund, der zu Ausfällen einer digitalen Verbindung schon bei sehr geringem Pegelabfall führen kann, vorgebeugt werden. Bei Relaisstationen mit ZF-Durchschaltung müssen auch die AGC-Spannungen der dort stationierten Empfänger bis ans Ende des Modulationsabschnittes übertragen werden. Diese Aufgaben übernimmt die Dienstkanal- und Fernübertragungs-Einrichtung.

45 Dienstkanal und Fernübertragungs-Einrichtung (SCE)

Mit der SCE steht dem Betriebspersonal ein analoger Omnibus-Dienstkanal zur Verfügung. Das Sprachsignal wird immer gleichzeitig über beide Richtfunkkanäle übertragen, womit eine hohe Verfügbarkeit gewährleistet ist. Das Band oberhalb des Sprachbandes (2800...4500 Hz) dient der Übertragung von Steuertönen,

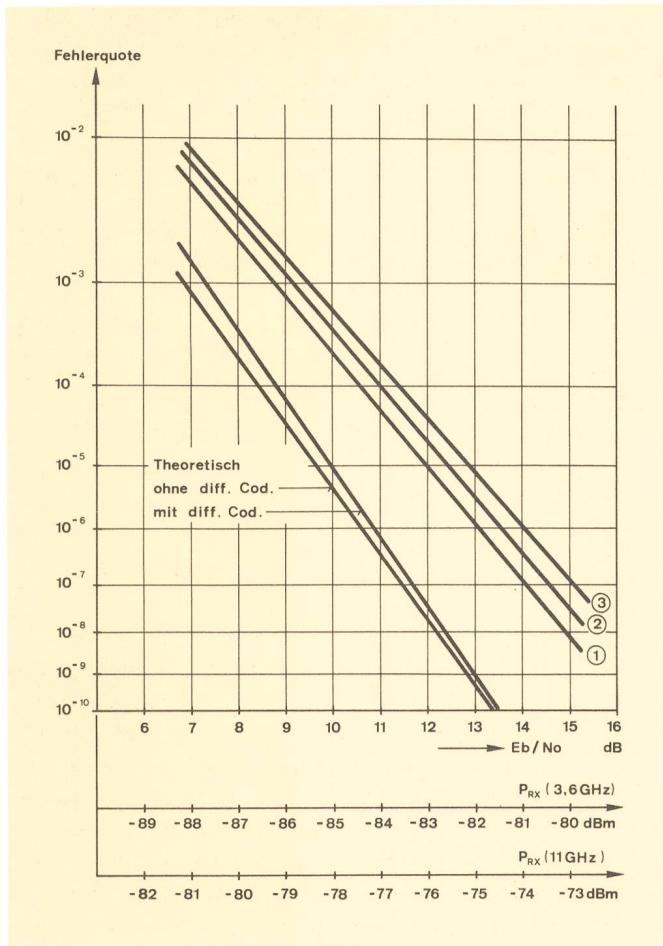


Fig. 6
Bitfehlerquote für verschiedene Systemkonfigurationen

- ① Modem allein
- ② Modem mit PSK 34-3600, 1 dB backoff; ebenso Modem mit PSK 34-11, 5 dB backoff
- ③ Modem mit PSK 34-11, 1 dB backoff

mit denen die AGC-Schwellen 1 und 2 von Relaisstationen mit ZF-Durchschaltung zum Basisbandumschalter übertragen werden. Je nach Stationsaufbau enthält die SCE alle oder Teile folgender Baugruppen: Weichen zur Trennung von Sprachband und Steuertönen, AGC-Schwellwertdetektoren und Tonsender, Tonempfänger, einen Anschaltsatz zum Zusammenschalten der verschiedenen Sprachleitungen auf die Sprechsatzeinheit und eine Stromversorgung.

46 Einige charakteristische Daten

Von den zahlreichen Messresultaten sollen hier nur zwei wichtige erwähnt werden. *Figur 6* zeigt die Bitfehlerquote in Funktion des normalisierten Geräuschabstandes E_b/N_0 für verschiedene Systemkonfigurationen (E_b = Signalenergie je Bit, N_0 = Rauschleistungsdichte). Wo möglich ist auch noch der Empfangspegel (vor dem RF-Filter) angegeben. Diese Ergebnisse machen den Einfluss der Leistungsrücknahme des Leistungsverstärkers auf die Fehlerquote deutlich. Die Sättigung führt aber auch zu einer Verbreiterung des Sendespektrums, wie dies recht deutlich aus *Figur 7* hervorgeht. Zur Einhaltung des geforderten Sendespektrums ist beim 3,6-GHz-Sender eine Rücknahme von mindestens 1 dB einzuhalten.

5 Laboruntersuchungen zum Verhalten des Umschalters bei Störungen

Der Umschalter hat in einem 1 + 1-System die Aufgabe, im Falle einer Störung des aktiven Kanals in den redundanten Kanal umzuschalten. Dabei muss bei digitaler Übertragung gewährleistet sein, dass die zwei Bitströme im Umschaltzeitpunkt synchron sind. Ein fehlendes oder ein zusätzliches Bit hätte für die nachgeschalteten Geräte einen viel verheerenderen Einfluss als ein falsches Bit (Verlust der Rahmensynchronisation). Ein elastischer Speicher sorgt deshalb ständig für das Angleichen des redundanten Bitstromes an den aktiven oder durchgeschalteten. Außerdem sollte nur umgeschaltet werden, wenn der Zustand des redundanten Kanals eine Qualitätsverbesserung verspricht. Ein ausgeklügeltes Überwachungssystem (Kapitel 4) organisiert die Umschaltung unter Berücksichtigung der Prioritäten der verschiedenen Alarme.

Eine fehlerfreie Umschaltung ist möglich, wenn sie aufgrund eines präventiven Kriteriums geschieht, z. B. wenn der Empfangspegel eines Empfängers im aktiven Kanal unter eine bestimmte Schwelle sinkt (AGC-Alarm I oder II). Dieser Fall wird im Kapitel 7 beschrieben.

Detektiert ein Demodulator mit Hilfe von eingefügten Paritätsbit eine fehlerhafte Übertragung, so wird ebenfalls eine Umschaltung angeordnet, die aber offensichtlich nicht mehr fehlerfrei sein kann. Die Anzahl der auftretenden Bitfehler hängt stark von der Art der Störung ab. Im folgenden soll deshalb das Verhalten des Schalters bei impulsförmigen Störungen respektive bei raschen Schwundereignissen beschrieben werden.

51 Umschaltung aufgrund eines Fadings

Eine nichtselektive Schwunderscheinung vermindert das Verhältnis Signal zu Geräusch S/N und führt in einem 4-PSK-modulierten System bei Werten $S/N \approx 16$ dB zu einzelnen Bitfehlern. Sinkt der Signalpegel weiter ab, so verzehnfacht sich näherungsweise die Anzahl der Fehler je ein dB S/N-Abnahme.

Im vorliegenden Gerät wird wie üblich eine differentielle Codierung verwendet, was paarweise auftretende Fehler zur Folge hat. Diese werden mit einer Wahrscheinlichkeit

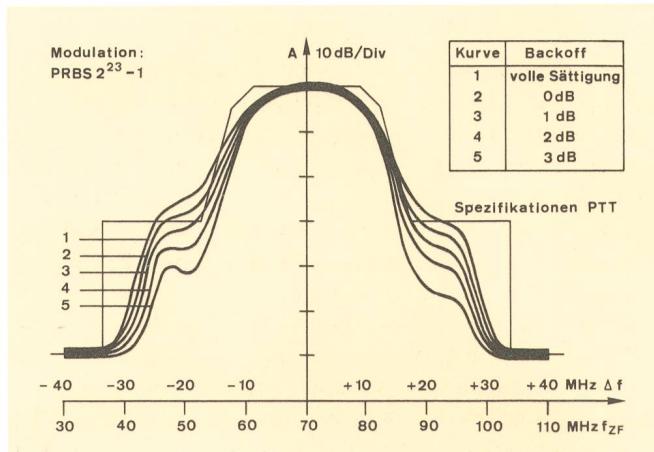


Fig. 7
Spektrum am Ausgang des Senders 3,6 GHz (mit Sendefilter)
Modulation: PRBS $2^{23}-1$

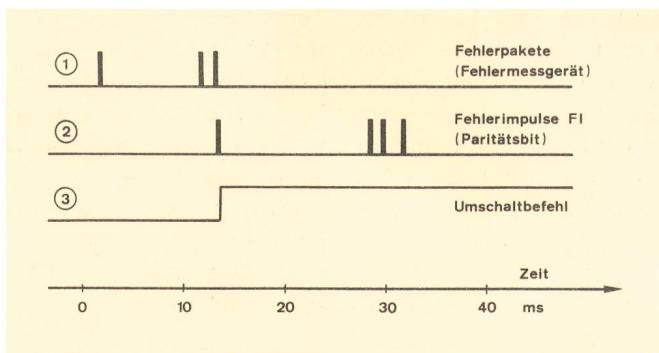


Fig. 8
Verhalten des Systems während eines Fadings mit einer Dämpfungs- zunahme von 100 dB/s in einem Übertragungskanal

keit von 50 % mit Hilfe des Paritätsbits entdeckt und erzeugen gegebenenfalls einen Fehlerimpuls FI. Dieser verlangt eine Umschaltung in den Ersatzkanal, die ausgeführt wird, wenn dieser bessere momentane Übertragungseigenschaften aufweist.

Figur 8 illustriert den zeitlichen Ablauf der Ereignisse beim Auftreten eines Fadings. Die Kurve ① zeigt das Erscheinen von drei Fehlerpaketen (zu zwei Fehler) an. Das dritte Ereignis führt zum ersten Fehlerimpuls FI (Kurve ②), der die Umschaltung herbeiführt (Kurve ③). Weitere Fehlerimpulse deuten an, dass die Schwundtiefe noch zugenommen hat. Nach der bereits erfolgten Umschaltung beeinflusst aber das Fading die Übertragung nicht mehr.

Die Anzahl der Fehler je Umschaltung ist eine zufällige Grösse, die theoretisch und experimentell weiter untersucht wurde. Mit Hilfe einer Computersimulation wurde für die geltenden Systemparameter wie Modulationsart, Codierung und Rahmenstruktur die Verteilung der Fehler je Umschaltung berechnet. Die resultierende Exponentialverteilung weist einen Mittelwert von 4 Fehlern je Umschaltung auf (Fig. 9, Kurve ①). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % wird der Ersatzkanal aktiviert, bevor – bei einer Bitrate von immerhin 34 Mbit/s – 20 Fehler aufgetreten sind. Die experimentellen Resultate sind praktisch gleich (Kurve ②).

Grösser sind die Unterschiede, wenn anstelle des flachen Schwundes ein selektiver tritt. Je nachdem wo sich die tiefste Stelle des Fadings in bezug auf die Kanalmitte befindet, werden verschiedenartige Verzerrungen erzeugt. Ein Minimum bei +10 MHz z. B. führt, wie die Kurve ③ zeigt, zu rasch detektierten Fehlern. Weniger günstig arbeitet das System bei Fadings mit Minima bei 0 bzw. +5 MHz (Kurven ④ und ⑤).

Diese Unterschiede, die zur Zeit Gegenstand weiterer Untersuchungen beim Hersteller sind, hängen mit dem Typ des Verwürflers und der Art und Weise, wie das Paritätsbit gebildet wird, zusammen.

Für das vorhandene Gerät gilt: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % bis 99,99 % schaltet das System je nach Typ des Schwundereignisses, ohne das Qualitätskriterium Bitfehlerquote = 10^{-6} zu strapazieren. Mit Hilfe der präventiven Umschaltung wird sogar fehlerfrei geschaltet.

52 Umschaltung aufgrund impulsförmiger Störung

Die digitale Übertragung mit kohärenter Demodulation ist besonders empfindlich auf Phasensprünge, die durch fehlerhafte oder durch Störimpulse beeinflusste Verstärker bzw. Oszillatoren hervorgerufen werden können. Je nach Dauer der Störung äussert diese sich in einem Fehlerpaket oder – was viel gravierender für die Folgesysteme ist – in einem Verlust der Träger- und Taktsynchronisation.

Um Aufschluss über das Verhalten des vorliegenden Umschalters zu gewinnen, wurde ein Übertragungspfad mit Unterbrüchen von einigen μ s Dauer beaufschlagt und beobachtet, welche Alarne bzw. wie viele Übertragungsfehler auftreten.

Die ersten Messungen ergaben, dass Störimpulse von mehr als 5 μ s Dauer zu einem Umschalten mit unerwartetem Bitverlust führen. Einerseits erzeugt der Störimpuls einen Verlust des regenerierten Trägers im Demodulator, und anderseits reagiert der Umschalter wegen der hohen Fehlerquote sehr rasch mit der Anzeige nicht-synchroner Bitströme und einer Verschiebung des elastischen Speichers. Die Umschaltung geschieht nach dem Auftreten des Demodulatoralarms (Umschaltung aufgrund von FI ist nur bei fehlendem «Bit-Synchron-Alarm» möglich) in einen verschobenen Ersatzkanal mit entsprechendem Bitverlust oder Bitverdoppelung. Die Herstellerfirma behob dieses Fehlverhalten durch den Einbau einer Verzögerung des Alarms «Nichtsynchrone Bitströme» um 150 μ s.

Figur 10 illustriert das Verhalten des modifizierten Umschalters nach einer impulsförmigen Störung (Kurve ①). Der erste Fehlerimpuls (Kurve ②) erwirkt die Umschaltung (Kurve ③). Die Kurve ④ «Bit nicht synchron» zeigt den um 150 s verzögerten Alarm. Er hat keinen Einfluss mehr auf die Umschaltung. Der Demodulatoralarm (Kurve ⑤), der einen Verlust des digitalen Rahmens

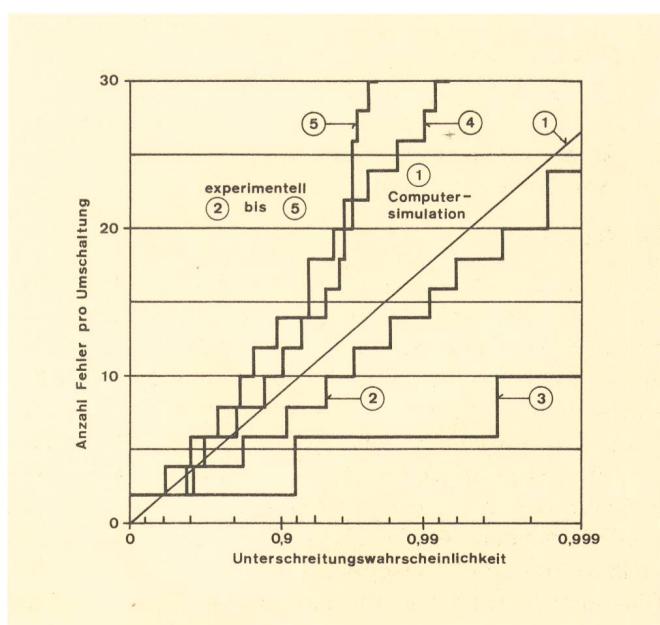


Fig. 9
Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anzahl Fehler pro Umschaltung aufgrund eines flachen resp. verschiedenartiger selektiver Schwundereignisse

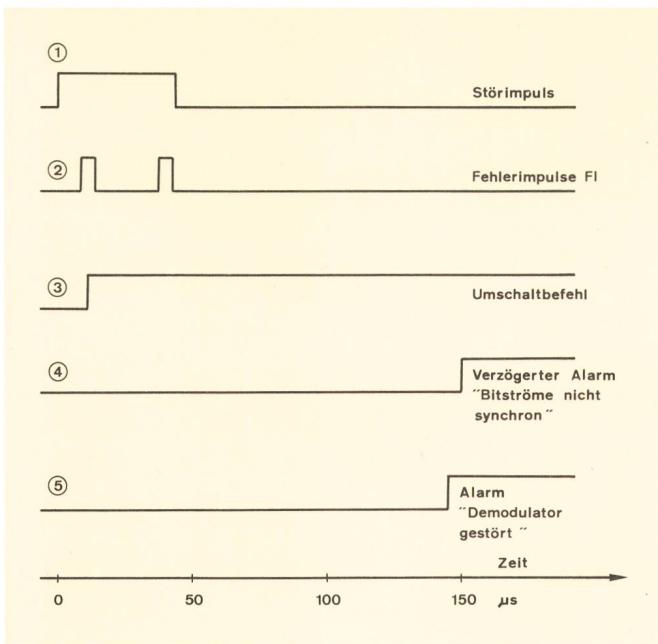


Fig. 10
Zeitlicher Ablauf der Auswirkungen einer impulsförmigen Störung

meldet, erscheint nach 125 μ s. Nach diesem Zeitpunkt würde ein Umschalten zu einem Bitverlust führen.

Die Verteilung der Fehler je Umschaltung ist in *Figur 11* dargestellt. Kurze Störimpulse erzeugen ein Fehlerpaket mit weniger als 100 Fehlern (Kurve ①). Längere Störungen führen zu einem Taktverlust des Demodulators. In 99 % der Fälle wird aber früh genug ein Fehlerimpuls detektiert, der eine Umschaltung in den Ersatzkanal bewirkt. Die Anzahl der Fehler schwankt zwischen 300 und 2000 (Kurve ②). Der vertikale Ast der Kurve deutet den Synchronisationsverlust an, der mit etwa 1 % aller Fälle immer noch auftritt. Mit einer kürzeren Rahmenlänge oder einem länger dauernden phasenrichtigen Freilauf des Taktes könnte dieser Wert weiter reduziert werden.

Kurve ③ beschreibt einen Mischfall: ein Teil der Störimpulse der Länge 5 μ s hat zufällig einen Synchronisationsverlust zur Folge, ein Teil nur ein Fehlerpaket mit ungefähr 100 Fehlern.

6 Überwachungseinrichtung und Datenerfassung

61 Konzept

Während der Versuchsphase stand die Verbindung für die Zeit eines knappen Jahres zu Systemuntersuchungen und Ausbreitungsexperimenten zur Verfügung. Im Vordergrund des Interesses stand das Verhalten des Systems beim Auftreten von Schwunderscheinungen infolge Mehrwegausbreitung. Diese Effekte zeigen sich erst ab Distanzen grösser als etwa 30 km, nehmen aber an Häufigkeit mit der dritten Potenz der Distanz zu. Es genügte deshalb, die Empfangspegel der beiden langen Teilstrecken zu überwachen. Ausserdem liefern die Relaisstationen Umschaltkriterien und die Demodulatoren bzw. der bitfehlerfreie Umschalter verschiedene Alarne in der Form digitaler Signale. Insgesamt mussten vier Analog- und 30 Digitalinformationen erfasst und registriert werden. Diese Aufgabe wurde einem Mikropro-

zessor übertragen, der die Eingangsdaten digitalisiert und speichert. Die notwendige Abtastrate ergibt sich aus der Dauer der Schwundereignisse, deren Medianwert bei einer Verbindung im 11-GHz-Band über eine Distanz von 100 km und einer Schwundtiefe von 30 dB etwa 2 Sekunden beträgt, zu 5 Hz. Damit erhält man eine Messwertmenge von 15 Millionen je Tag, die nur durch ein geschicktes Aufteilen in Statistiken bzw. Intervalle mit aussergewöhnlichen Ereignissen mit einem tragbaren Aufwand verarbeitet werden konnte.

Figur 12 zeigt die Konfiguration der Verbindung mit den Überwachungseinrichtungen. Die 1 + 1-Verbindung wird in beiden Richtungen mit Fehlerratenmessgerät überwacht; Fehler, Synchronisationsverlust oder «Alarm-Indication-Signal» (AIS) hält der angeschlossene Drucker mit Angabe der genauen Zeit fest. Im Terminal Zürich registriert das Datenerfassungssystem die allenfalls aufgetretenen Alarne und die mit einem Fernwirksystem von den Relaisstationen Jungfraujoch und Albis übermittelten Empfangspegel der beiden Frequenzen 3,6 und 11 GHz.

62 Datenerfassungseinrichtung

Der Kern der Datenerfassung ist ein Fortran-programmiertes Mikroprozessorsystem MINC mit Bildschirm, Drucker und zwei Floppy-Disketten (*Fig. 13*). Die ankommenen Signale werden von den Analog-Digital-Wandlern bzw. den 2 x 16 Digitaleingängen mit einer Abtastrate von 5 Hz verarbeitet und in Blöcken mit einer Kapazität für 30 Sekunden Messzeit gespeichert. Ein Programmteil bildet aus den Empfangspegeln die Grundlage für Statistiken über Intervalle von sechs Stunden Dauer. Die Resultate werden alle sechs Stunden auf die Diskette gespeichert, deren Kapazität für eine Registrierdauer von 15 Tagen ausreicht. Ein weiterer Programmteil prüft, ob aussergewöhnliche Ereignisse vorliegen und hält gegebenenfalls die Quellendaten zusätzlich auf der zweiten Diskette fest. Der vorhandene Speicherplatz genügt für 240 30-Sekunden-Blöcke. Start und Stopp der Registrierung, Testabfragen und jeder Zugriff

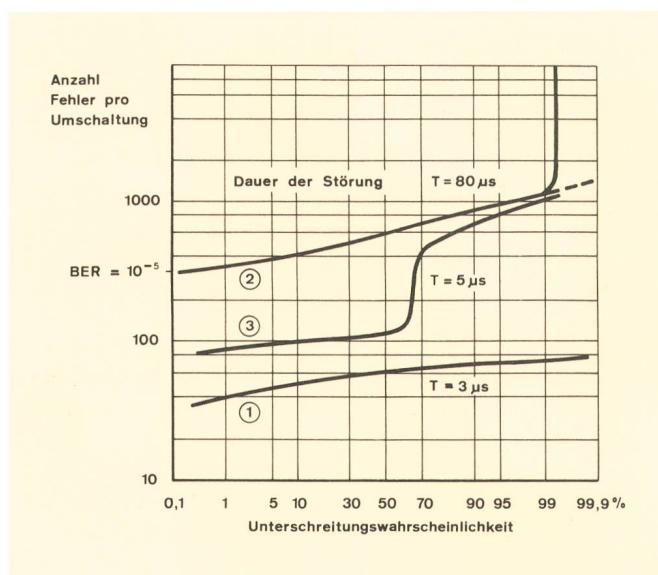


Fig. 11
Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anzahl Fehler pro Umschaltung aufgrund einer impulsförmigen Störung

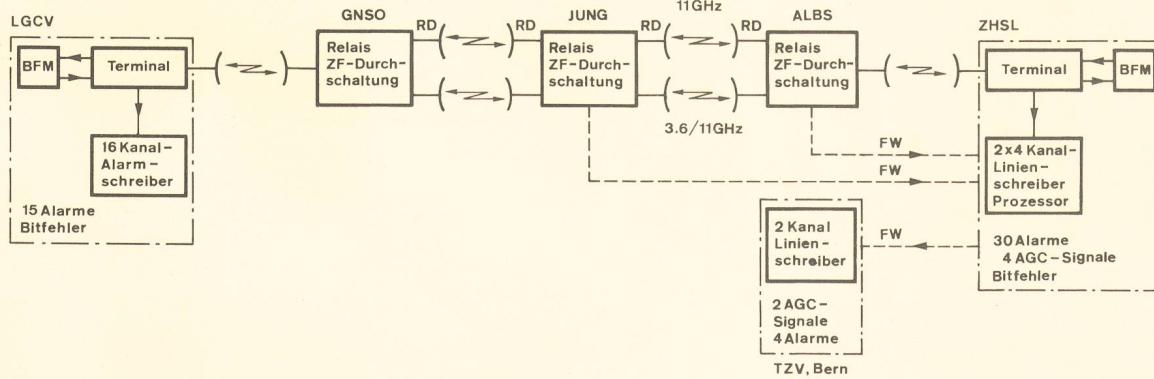


Fig. 12

Blockschema der Verbindung mit den Überwachungseinrichtungen

RD Raumdiversity

BFM Bitfehlermessplatz

FW Fernwirkanlage

zu den Disketten wird auf dem Drucker protokolliert (Fig. 14).

All diese Aufgaben werden mit Hilfe eines speziell für diesen Zweck hergestellten Programmpaketes bewäl-

tigt. Für die Problemanalyse, das Programmdesign, die Codierung und den Test des Programmpaketes wurden etwa 9 Monate aufgewendet. Die fünf für die Eichung, die Messung und für Kontrollzwecke entwickelten Pro-

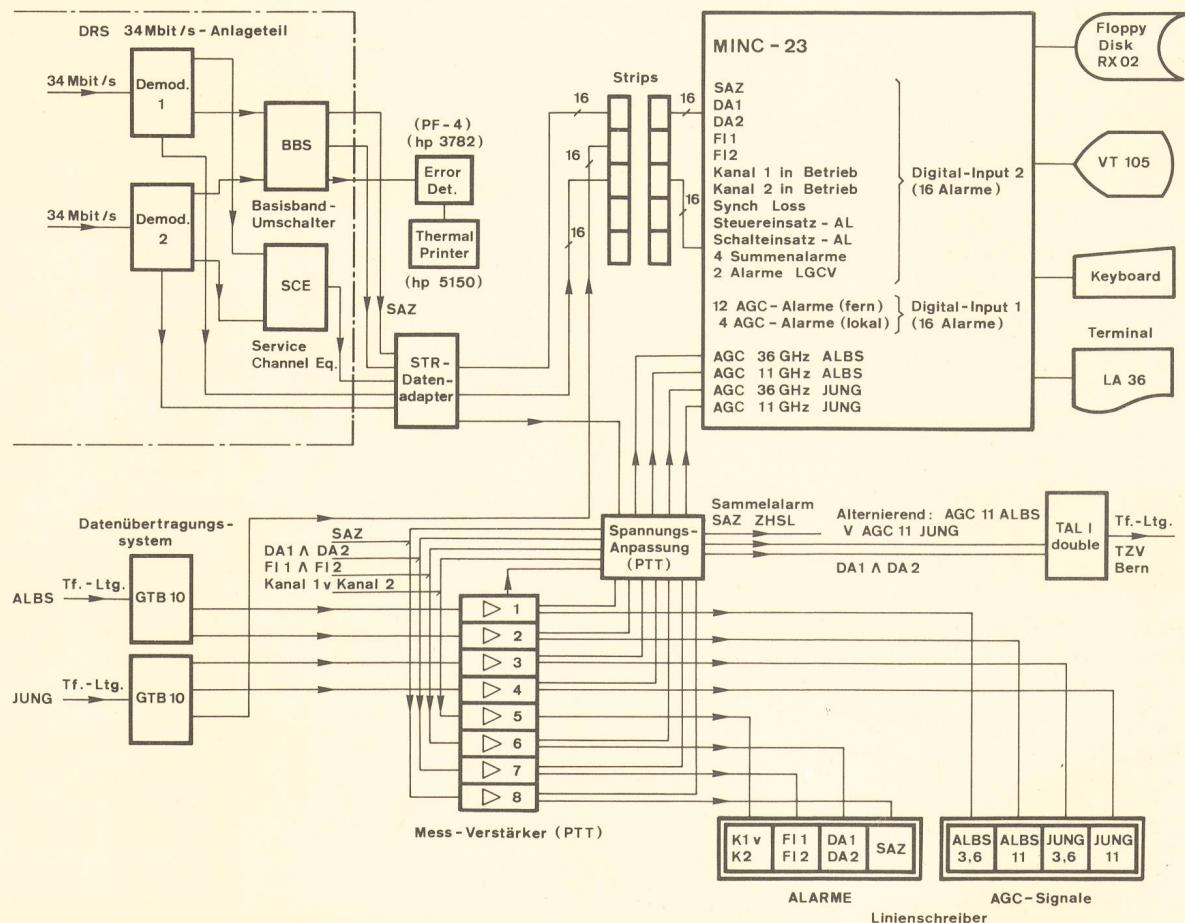


Fig. 13

Blockschema der Überwachungseinrichtung im Terminal Zürich-Selnau

Freie Records auf:	DISK 1
DISK 0	19 von 60
240 von 240	31 %
START DER MESSUNG: Datum: 6-29-83 Zeit: 07:20:42	
Momentanwert-Records	Statistik-Records
1 6-29-83 9:25: 0	42 6-29-83 12: 0: 0
2 6-29-83 9:36: 0	43 6-29-83 18: 0: 0
3 6-29-83 13:12: 0	44 6-30-83 0: 0: 0
4 6-29-83 14:37: 0	45 6-30-83 6: 0: 0
	46 6-30-83 7:19: 0
ENDE DER MESSUNG: Datum: 6-30-83 Zeit: 07:19:37	
Freie Records auf:	DISK 1
DISK 0	14 von 60
236 von 240	23 %
98 %	

Fig. 14
Protokoll der prozessorgesteuerten Datenaquisition

gramme sind modular aufgebaut und können mit wenig zusätzlichem Aufwand an neue Aufgaben angepasst werden.

Um eine möglichst lückenlose, von Gerätestörungen wenig abhängige Überwachung zu gewährleisten, wurde die Bitfehlermessung nicht mit dem Prozessor gekoppelt. Ausserdem wurden die vier Empfangsspeigel und die wichtigsten Alarne mit Hilfe eines Linienschreibers zusätzlich auf Papier aufgezeichnet.

Die Richtfunkanlage des Terminals wie auch die Überwachungseinrichtung wurden in der Regel einmal täglich kontrolliert. Durch weitere Meldungen – die 11-GHz-Pegel wurden ins technische Zentrum der Generaldirektion PTT in Bern übermittelt, und ein Sammelalarm erreichte die zuständigen Mitarbeiter der Fernmeldekreisdirektion Zürich in ihrem Büro – wurde ein rasches Eingreifen bei Pannen ermöglicht.

7 Ergebnisse des Ausbreitungsexperimentes

71 Dämpfung infolge Niederschlags

Der in bezug auf Niederschlagseinfluss kritische Teil der Verbindung befindet sich zwischen dem Generoso und dem Jungfraujoch. Diese Teilstrecke weist eine Länge von 106 km auf und durchquert den für ausgeprägte Starkrügen bekannten Tessin.

In *Figur 15* ist eine Prognose für die Wahrscheinlichkeit einer Niederschlagsdämpfung den im September 1983 gemessenen Werten gegenübergestellt. Für den mittleren ungünstigsten Monat wird nach [3] für das Mittelland eine Wahrscheinlichkeit gemäss Kurve ① vorausgesagt. Im Tessin gelten eher noch pessimistischere Werte. Von Jahr zu Jahr variiert diese Kurve ausserdem um bis zu einen Faktor $1/3$ bzw. 3.

Die Kurve ② beschreibt die im September gemessene Dämpfungswahrscheinlichkeit, die die Prognose um einen Faktor 5 übersteigt. Die beobachteten Ereignisse sind zu 95 % konzentriert während der Nacht vom 10. auf den 11. September aufgetreten. Die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt schreibt dazu: «Am

10. September wurde bei einer Südstaulage mit Gewittern in Mosogno 412 mm und in Camedo 414 mm Regen gemessen. Es sind dies von den grössten in der Schweiz bekanntgewordenen Tagesmengen seit der Gründung des Beobachtungsnetzes im Jahr 1864.» Dazu ist zu bemerken, dass der Strahl der Verbindung Generoso–Jungfraujoch in einer Höhe von 2500 m zwischen den beiden zitierten Ortschaften verläuft.

Die beobachteten Unterbrüche (Dämpfung > 35 dB) verteilten sich auf 18 Intervalle mit einer Dauer zwischen einigen Minuten und $2\frac{1}{2}$ Stunden innerhalb der Zeit von 16.30 Uhr nachmittags bis 01.30 Uhr morgens.

Die Niederschläge hatten keinen Einfluss auf die 1+1-Verbindung. Das System schaltete beim ersten Ereignis fehlerfrei von 11 auf 3,6 GHz, so dass dieses «Jahrhundertgewitter» die Übertragung nicht beeinträchtigte.

72 Dämpfung infolge von Mehrwegausbreitung

Wenn im vorigen Kapitel die Prognose – bei welcher es sich um Angaben über einen mittleren ungünstigen Monat handelt – im negativen Sinne übertroffen wurde, so konnte in bezug auf Mehrwegausbreitung das Gegenteil festgestellt werden. Eine pessimistische Schätzung sagt für eine 100 km lange Strecke ungünstige Monate voraus, die bis zu 100 % der Zeit Mehrwegausbreitungseffekte aufweisen. Dies gilt aber vor allem für wenig geneigte Strecken, deren Verbindungsline die meist im Herbst und Winter auftretenden Inversionsschichten mit sehr kleinem Winkel schneidet. Die zwei langen Teilstücke der vorliegenden Verbindung sind steil und verlaufen zum Teil in höher gelegenen Luftsichten, die

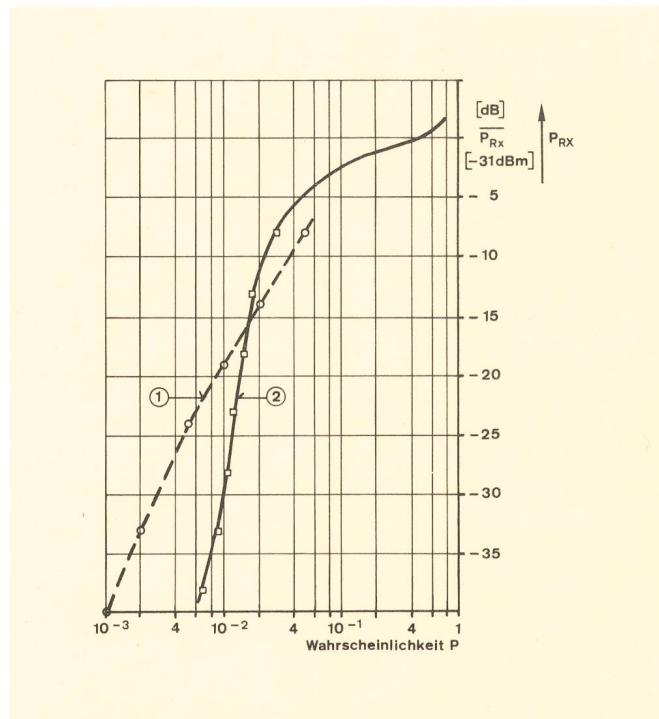


Fig. 15
Prognostizierte und gemessene Wahrscheinlichkeit für die Dämpfung infolge Niederschlags auf der Strecke Generoso–Jungfraujoch
 $d = 106$ km, $f = 11,155$ GHz
Polarisation = vertikal
Messintervall: September 1983

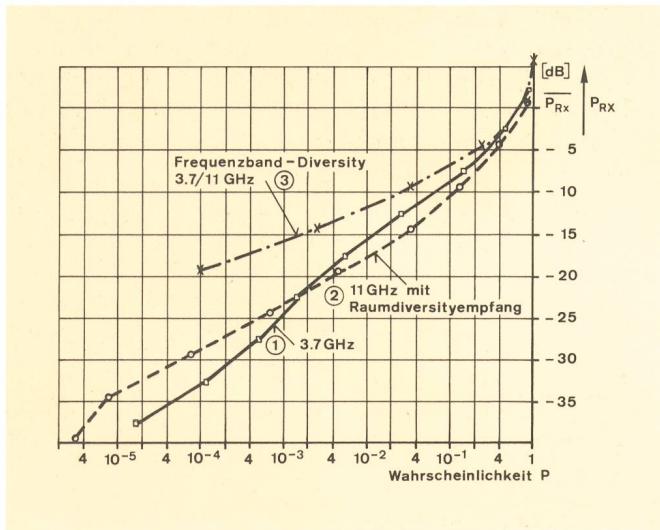


Fig. 16

Gemessene Wahrscheinlichkeit für die Dämpfung infolge von Mehrwegausbreitung auf der Strecke Generoso-Jungfraujoch
 $d = 106 \text{ km}$, $f = 3,71$ und $11,155 \text{ GHz}$
 Polarisation = vertikal
 Messintervall: 30. 7. – 1. 8. 83 (36 h)
 11 GHz mit Raumdiversityempfang

nur im Sommer eine hohe absolute Luftfeuchtigkeit aufweisen. Sommerliches Wetter ist zudem häufig mit turbulenten Luftbewegungen verbunden und erlaubt damit selten langdauernde stabile Schichten. Die Folge sind relativ kurze Perioden mit Mehrwegausbreitungseffekten.

Anstelle einer gesicherten Monatsstatistik können deshalb nur kurze Perioden mit starker Schwundtätigkeit vorgestellt werden. Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten gelten aber trotzdem für einen ungünstigen Monat, wenn sie mit einem Faktor 0,1...0,2 multipliziert werden.

Figur 16 zeigt die Unterschreitungswahrscheinlichkeiten der auf dem Jungfraujoch empfangenen Signale. Die Kurve ① beschreibt den 3,7-GHz-Pegel. Die Wahrscheinlichkeit, dass das mit einem Raumdiversitykombinator phasenrichtig addierte 11-GHz-Signal der zwei Empfangsantennen einen bestimmten Pegel unterschreitet, wird durch die Kurve ② dargestellt. Die Kurve ③ gibt die Wahrscheinlichkeit für eine simultane Unterschreitung einer vorgegebenen Schwelle durch beide Empfangssignale an. Offensichtlich werden keine simultanen Schwundereignisse mit einer Schwundtiefe von 25 dB und mehr beobachtet.

In Figur 17 sind dieselben Kurven für ein späteres Zeitintervall dargestellt, während welchem der Raumdoppelempfang inaktiv war. Das 11-GHz-Signal steht ohne Schutz je nach Schwundtiefe um einen Faktor 3 (20 dB) bis 30 (30 dB) schlechter da. Die Kurve für das 3,7-GHz-Signal verläuft bis etwa 25 dB Schwund ähnlich jener von Figur 16, weist aber keine extrem tiefen Schwundergebnisse auf. Die Kurve für simultanen Schwund ist für beide Fälle (mit und ohne Raumdoppelempfang) praktisch gleich.

Auch ohne Raumdoppelempfang genügte der Schutz, gegeben durch den Zwei-Band-Betrieb, um die störende Wirkung der beobachteten Fadings auf die Übertra-

gungsqualität zu eliminieren – in keinem Fall traten Bitfehler wegen Mehrwegausbreitungseffekten auf!

Der zusätzliche Schutz durch Raumdoppelempfang vermindert die Zahl der (fehlerfreien) Umschaltungen, stellt aber einen Aufwand dar, der zur Erfüllung der Planungsziele nicht notwendig ist.

73 Verhalten des Systems beim Auftreten realer Schwundeffekte

Im Kapitel 5 wurde das Verhalten des Umschalters ohne präventive Alarne besprochen und gezeigt, dass seine Eigenschaften ein Umschalten ohne Verletzung der CCIR-Qualitätskriterien in den meisten Fällen ermöglichen. Ein gänzlich fehlerfreies Schalten wird trotzdem angestrebt und ist möglich, wenn zusätzliche Kriterien wie Empfangspegelalarme zur Verfügung stehen.

Im vorliegenden System werden von jedem Empfänger zwei Empfangspegel-Alarne (bei 15 dB und 25 dB Schwund) mit Steuertönen über einen reservierten Teil des analogen Dienstkanals zum Terminal übermittelt. Dort werden die Signale herausgefiltert und dem Schalter als AGC-Alarm I und II zugeführt. Dieser wertet sie aufgrund einer programmierbaren Prioritätsliste aus und ordnet gegebenenfalls eine Umschaltung an.

Figur 18 zeigt ein typisches Beispiel: durchgeschaltet ist der Kanal 11 GHz. Wegen sinkendem Pegel 3,7 GHz wird ein Alarm AGC I/3,7 erzeugt und eine Umschaltung vorgenommen. Noch während dieses Fadings erleidet auch das 11-GHz-Signal Schwund und löst einen Alarm AGC I/11 aus. Dieser hat, weil ihm die gleiche Priorität wie AGC I/3,7 zugeordnet ist, keine Wirkung. Erst nachdem sich das 3,7-GHz-Signal wieder erholt hat und das

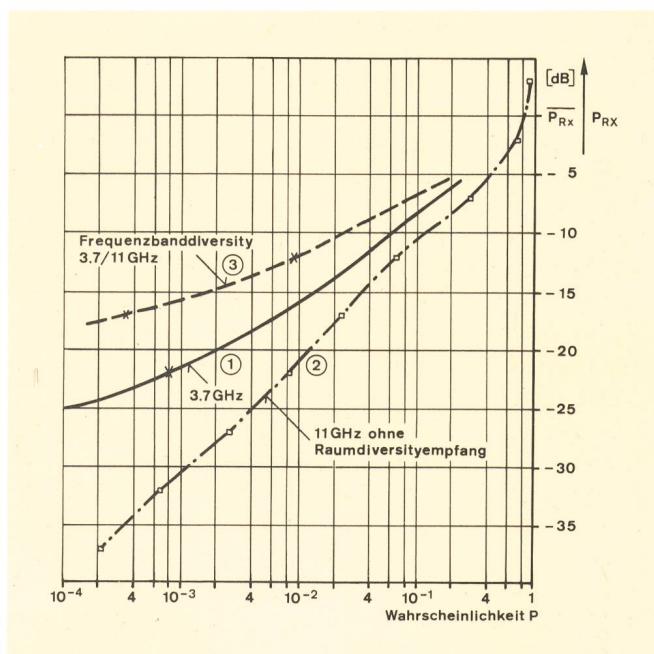


Fig. 17

Gemessene Wahrscheinlichkeit für die Dämpfung infolge von Mehrwegausbreitung auf der Strecke Generoso-Jungfraujoch
 $d = 106 \text{ km}$, $f = 3,71$ und $11,155 \text{ GHz}$
 Polarisation = vertikal
 Messintervall: 24. 9. 83 (6 h)
 11 GHz ohne Raumdiversityempfang

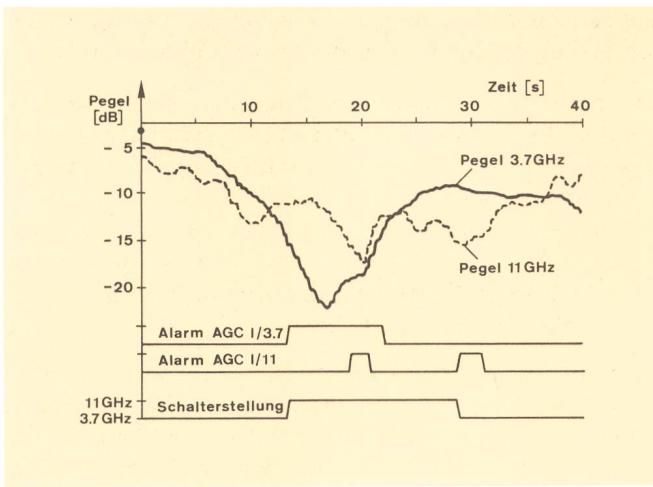


Fig. 18
Beispiel eines Schwundereignisses mit ausgelösten Alarmen und Umschaltungen

11-GHz-Signal ein weiteres Fading aufweist, schaltet das System auf den Kanal 3,7 GHz zurück.

Das Ereignis führte wie viele hundert andere auch zu keinen Bitfehlern im Übertragungskanal.

8 Erfahrungen während der Versuchsperiode

Die einjährige Versuchsperiode war primär vorgesehen zur Überprüfung des Einflusses der Ausbreitung auf die Qualität und Verfügbarkeit der Verbindung. Die Erfahrungen der ersten Wochen zeigten dann bereits, dass gerätebedingte Störungen überwiegten. Während der ganzen Messperiode und darüber hinaus konzentrierten sich die Anstrengungen der PTT und des Lieferanten auf die Erfassung und Behebung einer ganzen Reihe von Störungen.

Für diese anfänglich unerwarteten Schwierigkeiten sind drei verschiedene Gründe oder Ursachen massgebend:

- Die Genauigkeit, mit der bei der digitalen Übertragung Fehler erfasst werden können, ist gegenüber der analogen Richtfunktechnik um mehrere Größenordnungen besser. Jeder einzelne Bitfehler wird erfasst, nicht nur Ausfälle einer gewissen Mindestdauer.
- Die digitale Richtfunktechnik stellt Anforderungen an die Gerätetechnik, die bisher nicht wesentlich waren. Als äusserst kritisch erwiesen sich Phasensprünge im Übertragungspfad, wie sie z. B. von Oszillatoren verursacht werden können. Diese führen zu kurzzeitigen Totalausfällen im betroffenen Kanal.
- Die Eingrenzung und Behebung von Fehlern, die nur sporadisch auftreten, erfordert einen grossen materiellen und zeitlichen Aufwand. Einzelfehler oder nur kurzzeitig auftretende Alarne müssen erfasst und registriert werden. Ist das defekte Gerät gefunden und ersetzt, so zeigt oft erst eine anschliessende, mehrjährige Messperiode, ob die Massnahme erfolgreich war.

Aus den Erfahrungen mit dieser ersten digitalen Richtstrahlverbindung können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Bei der Entwicklung von digitalen Richtfunkgeräten ist besonderes Gewicht auf Schaltungstechniken und

Konstruktionen zu legen, die Phasen- und Amplitudenmodulationen durch pulsartige Störer verhindern.

- Die Geräte sind vor der Installation auf den Stationen Tests zu unterwerfen, die den spezifischen Anforderungen der digitalen Übertragung noch besser angepasst sind.
- Ausser Totalausfällen von Geräten sind auch Einzelfehler und Fehlerbüschel im Betrieb so zu erfassen, dass eine rasche Eingrenzung der Fehlerursache möglich ist. Diese hat Auswirkungen sowohl auf die Richtfunkgeräte als auch auf die Betriebsführungssysteme.

Mit solchen zusätzlichen Massnahmen steht geräteseitig dem erfolgreichen Einsatz des digitalen Richtfunks nichts mehr im Wege.

9 Schlussfolgerungen

Für die drahtlose Übertragung digitaler Information mit einer Bitrate von 34 Mbit/s wurde ein den schweizerischen Verhältnissen angepasstes Konzept entwickelt. «Schweizerische Verhältnisse» heisst hier aber nicht perfektionistisch und polyvalent. Vielmehr musste bestimmten Randbedingungen wie dem bestehenden Richtfunknetz, das auf die Topographie des Landes Rücksicht nimmt, und den klimaabhängigen Wellenausbreitungseffekten Rechnung getragen werden.

Eine erste, 220 km lange Verbindung wurde zwischen Lugano und Zürich verwirklicht. Sie überquert die Alpen in zwei langen Teilstrecken und weist an den beiden Enden je ein kurzes Anschlussstück zwischen der Zentrale und der Höhenstation auf.

Während einer einjährigen Versuchsphase wurden vor allem die Tauglichkeit des Konzepts und das Verhalten des 1+1-Systems unter dem naturbedingten Einfluss der Wellenausbreitung geprüft. Trotz extrem starker Niederschläge und Perioden mit intensiver Schwundtätigkeit wurden keine auf Ausbreitungsproblemen beruhenden Übertragungsfehler festgestellt. Mehr Probleme als erwartet tauchten von der Geräteseite her auf, weil sich einige in der FM-Technik bewährte Bauteile als kritisch für die digitale Übertragung erwiesen und andere eine ungenügende Verfügbarkeit zeigten. Die Ursachen der zum Teil sporadischen und sehr kurzen, aber trotzdem manifesten Störungen verlangen neue Überwachungstechniken, die sich schon in der Versuchsperiode bewähren konnten.

Die Verbindung erfüllt die an sie gestellten Anforderungen in bezug auf Verfügbarkeit und Qualität und konnte dem Betrieb übergeben werden.

Bibliographie

- [1] Wey E. Allgemeine Gesichtspunkte zum Planen von Richtfunknetzen. Nachrichtentechnisches Kolloquium der Universität Bern 1978/79, 6-1 bis 6-15.
- [2] Liniger M. Berechnung der Verfügbarkeit einer Richtfunkverbindung unter Berücksichtigung von Geräteausfällen und Schwunderscheinungen. NTG-Fachtagung, München, NTG Fachberichte, (1980) 70, S. 99.
- [3] Debrunner W. E. The Prediction of Rain Attenuation Statistics. Annales des Télécommunications, Issy-les-Moulineaux 35 (1980) 11-12, S. 339.

- [4] *Liniger M.* Ausbreitungsstatistiken. Nachrichtentechnisches Kolloquium der Universität Bern 1978/79, 7-1 bis 7-19.
- [5] *Liniger M.* Dämpfung auf Richtfunkverbindungen unter besonderer Berücksichtigung der Mehrwegausbreitung. *Techn. Mitt. PTT*, Bern 56 (1978) 5, S. 178.
- [6] *Gysel U.* Ein digitales Richtstrahlsystem für 34 Mbit/s. *STR-Report*, Zürich 3 (1982) 1, S. 16.
- [7] *Noesen P. und Winzeler H. R.* FM 1800/TV-4000: Erstes Richtstrahlgerät einer neuen Generation. *STR-Report*, Zürich 1 (1981) 2, S. 10.
- [8] *Liniger M.* Sweep Measurements of the Transfer Function of a RF-Channel and its Representation by Polynomials, *ICC'82*, Philadelphia. *Techn. Mitt. PTT*, Bern 60 (1982) 7, S. 336.
- [9] *Liniger M.* One Year Results of Sweep Measurements of a Radio Link, *ICC'83*, Boston. *Techn. Mitt. PTT*, Bern 62 (1984) 1, S. 7.
- [10] *Martin L.* Statistical Results on Selective Fadings. *ICC'82*, Philadelphia 1982.
- [11] *Vigants A.* One Year Results on Distance Variation of Two-Tone Amplitude Dispersion. *ICC'82*, Philadelphia 1982.
- [12] *Noack W.* Richtfunkplanung mit Digitalsystemen für 140 Mbit/s. *Telecom Report*, Berlin 6 (1983) 5, S. 258.

Die nächste Nummer bringt unter anderem
Vous pourrez lire dans le prochain numéro

1/85

- | | |
|-------------------------|--|
| Pfyffer H.-K. | ISDN-Dienstintegrierte Digitalnetze |
| Novák R. | Rückstreu-Dämpfungsmethode an Glasfasern |
| Gertsch F.
Mignot D. | Erste Erfahrungen beim Bau von Glasfaser-Kabelanlagen |
| Schnörr R. | Zusammenhänge erkennen, in Systemen denken, funktional handeln |
| Liniger M. | Sweep Measurements of Multipath Effects on Cross-Polarized RF-Channels Including Space Diversity |
-