

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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 65 (1987)

Heft: 2

Artikel: 120-Mbit/s-TDMA/DSI-Ausrüstungen für Satellitverbindungen

Autor: Freudiger, Martin

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874794>

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>

120-Mbit/s-TDMA/DSI-Ausrüstungen für Satellitenverbindungen

Martin FREUDIGER, Bern

Zusammenfassung. *Digitale Verbindungen über Satelliten bestehen bereits seit mehr als 15 Jahren. Die Bedarfsprognosen für derartige Verbindungen sind wegen der Zunahme von Datenkommunikationsanwendungen und nicht zuletzt wegen der voranschreitenden Digitalisierung der nationalen Übertragungsnetze stark ansteigend. Mit der Einführung von Zeitvielfachzugriffsausrüstungen (TDMA = time division multiple access) und digitalen Sprachinterpolationsschaltungen (DSI = digital speech interpolation) auf der Satelliten-Bodenstation Leuk können die Satellitenfrequenzbänder effizienter genutzt werden, und internationale voll-digitale Stromkreise über Satellit werden in grösserem Ausmass verfügbar. Der Beitrag beschreibt das technische Prinzip, die Übertragungs- und Testausrüstungen sowie die Schnittstelle zum terrestrischen Netz.*

Equipements TDMA/DSI à 120 Mbit/s pour les liaisons par satellites

Résumé. *Les liaisons numériques par satellites sont possibles depuis plus de 15 ans. Actuellement, la demande se caractérise par une forte augmentation due à l'accroissement des applications pour la communication de données et, en particulier, à l'avance de la numérisation dans les réseaux de transmission nationaux. Grâce à l'introduction d'équipements à accès multiples par répartition dans le temps (AMRT ou TDMA = time division multiple access) et de circuits numériques d'interpolation de la parole (DSI = digital speech interpolation) à la station de Loèche, les bandes de fréquences pour satellites pourront être mises mieux à profit et un plus grand nombre de circuits internationaux entièrement numériques seront ainsi disponibles. L'article ci-après décrit le principe technique, les équipements de transmission et de test, de même que la jonction avec le réseau terrestre.*

Equipaggiamenti TDMA/DSI a 120 Mbit/s per collegamenti via satellite

Riassunto. *I collegamenti digitali via satellite esistono da più di 15 anni. Collegamenti di tal genere sono sempre più richiesti, sia perché le applicazioni di comunicazione di dati sono in continuo aumento, sia perché la digitalizzazione delle reti di trasmissione nazionali progredisce costantemente. L'introduzione di equipaggiamenti TDMA (TDMA = time division multiple access = accesso multiplo a divisione di tempo) e di circuiti DSI (DSI = digital speech interpolation = interpolazione digitale vocale) nella stazione terrestre per satelliti di Leuk permette di sfruttare meglio le bande di frequenza per satelliti e di disporre così di un maggior numero di circuiti internazionali via satellite completamente digitali. L'autore descrive il principio tecnico, gli equipaggiamenti di trasmissione e di prova come pure l'interfaccia verso la rete terrestre.*

1 Einleitung

Der in den letzten Jahren ständig zunehmende Bedarf an internationalen Leitungen und die rasch voranschreitende Digitalisierung der nationalen Fernmeldenetze haben zu neuen Entwicklungen auch in der Satellitenübertragungstechnik Anlass gegeben. Dazu gehört der Bau von ständig leistungsfähigeren Satelliten (Mehrfachfrequenzausnutzung durch geographische Aufteilung der Antennendiagramme nach Regionen sowie Doppelpolarisationsbetrieb) und die Einführung von digitalen Einzelkanalausrüstungen (SCPC = single channel per carrier).

Als Teil dieser Bestrebungen wurden von 1967 an durch Intelsat (Internationale Satellitenbetriebsorganisation) Versuche mit Zeitmehrfachzugriffstechniken über einen Satelliten, anstelle des weit verbreiteten Frequenzmehrfachzugriffs, gemacht. Parallel dazu wurden auch wesentliche Fortschritte in der Mehrfachausnutzung von Stromkreisen mit analoger Sprachinterpolation erzielt, was zur Einführung von TASI (time assignment speech interpolation) auf analogen Seekabelleitungen führte.

Diese Vorarbeiten finden ihren vorläufigen Abschluss im TDMA/DSI-System, das vor kurzem auf einigen Satelliten im weltweiten Intelsat-Netz und auf einem Satelliten des europäischen Eutelsat-Netzes (Europäische Satellitenbetriebsorganisation) eingeführt wurde. Gegenüber der herkömmlichen Technologie ergeben sich mit dem TDMA/DSI-Verfahren mögliche Kanalkapazitätsgewinne bis zu einem Faktor 3.

In der Satelliten-Bodenstation Leuk haben die schweizerischen PTT-Betriebe drei komplette TDMA/DSI-Ausrüstungen installiert (NEC, Japan), wovon zwei im Intelsat-

Netz (Region atlantischer und indischer Ozean) und eine im Eutelsat-Netz (Region Europa) eingesetzt sind.

2 Satellitenübertragungskonzept

Figur 1a zeigt den stark vereinfachten, grundsätzlichen Aufbau einer Satellitenübertragungsstrecke zwischen zwei Gesprächsteilnehmern. Die mehr als 500 MHz breiten Übertragungsfrequenzbänder (Fig. 1b) sind im Satelliten auf mehrere Frequenzumsetzer/Verstärker (Transponder) von bis zu 80 MHz Bandbreite aufgeteilt. Jeder Transponder kann auf Antennen mit unterschiedlicher Richtcharakteristik und Polarisation geschaltet werden (s. dazu auch Fig. 5). Die Transponder werden bedarfsweise den einzelnen Diensten (Telefonie, Fernsehen, Unternehmenskommunikation usw.) zugeteilt.

3 Mehrfachzugriffsverfahren

31 Frequenzmehrfachzugriff

Beim bis anhin fast ausschliesslich eingesetzten Frequenzmehrfachzugriff (FDMA = frequency division multiple access) ist jedem Sendekanalbündel ein eigenes, verhältnismässig schmales Frequenzband zugeteilt (Fig. 2a), d. h. jedes Land kann im Satellitentransponder auf Grund der Frequenzlage identifiziert werden (analog der Radiofrequenzverteilung im UKW-Band). Die Telefoniekanäle nach mehreren Ländern werden sendeseitig im Basisband zusammengefasst (FDM = frequency division multiplex) und einem hochfrequenten Träger aufmoduliert (FM). Auf der Empfangsstation werden nach der Demodulation nur die für das jeweilige Land bestimmten Kanäle an das terrestrische Netz weitergeleitet.

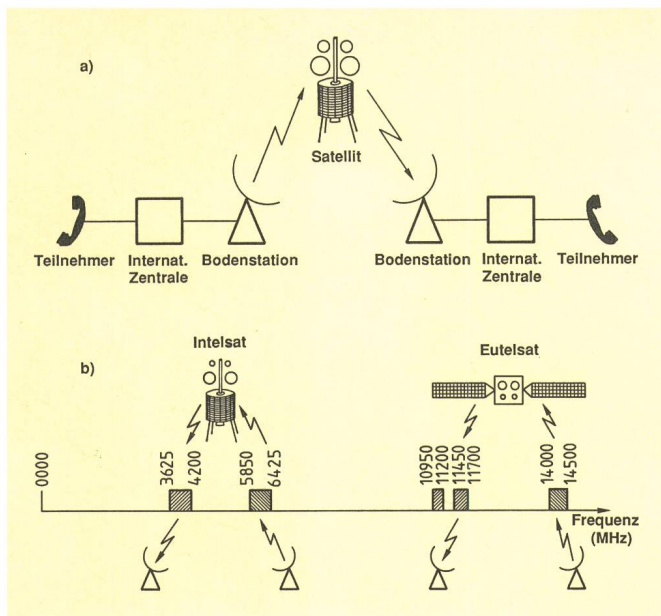


Fig. 1a und 1b
Satellitenübertragungskonzept und Frequenzbandbelegung

32 Zeitmehrfachzugriff

Beim Zeitmehrfachzugriffsverfahren (TDMA) ist jeder Sendestation ein sich wiederholender Zeitschlitz zugewiesen, in dem die ganze Transponderbandbreite zur Verfügung steht (Fig. 2b). Wegen der zeitlichen Aufteilung stehen die Übertragungskanäle zwischen zwei Verkehrspartnern nicht mehr kontinuierlich zur Verfügung (burst mode), was Zwischenspeicherungen erforderlich macht. Mit digitalisierten Signalen ist dies leicht möglich. Auch bei diesem Verfahren werden die Kanäle nach verschiedenen Destinationen sendeseitig zusammengefasst und in einem kurzen Signalpaket (burst) ausgesendet. Die Empfangsstation leitet nur die interessierende Information an das terrestrische Netz weiter.

4 Sprachinterpolation

In normalen Telefonieübertragungssystemen wird jedem Teilnehmer während der ganzen Gesprächsdauer ein Sprechpfad dauernd zugeteilt (Fig. 3a). Dies ist insofern eine schlechte Ausnutzung der Übermittlungsanlagen, weil bei Gesprächen recht häufig grosse richtungsbezogene Sprechpausen auftreten (üblicherweise spricht nur einer der beiden Gesprächsteilnehmer).

Beim digitalen Sprachinterpolationsverfahren (DSI = digital speech interpolation) wird nun dieser Pfad beim Detektieren einer Sprechpause sofort für die Übertragung anderer, momentan aktiver Pfade freigegeben (Fig. 3b). Beendet der Teilnehmer seine Sprechpause, wird er einen anderen z. Z. freien Kanal neu belegen, d. h. während der Dauer eines ganzen Gespräches wird ein Benutzer oft den Sprechpfad wechseln. Gegeben durch die statistische Verteilung der Sprechpausen, können derartige Verfahren erst von gewissen Kanalbündelgrößen an ohne merkliche Qualitätsbeeinträchtigung (freeze out) eingesetzt werden. Ab Bündeln von etwa 50 Kanälen kann mit einem Kanalgewinn um den Faktor 2 oder mehr gerechnet werden, d. h. 100 Teilneh-

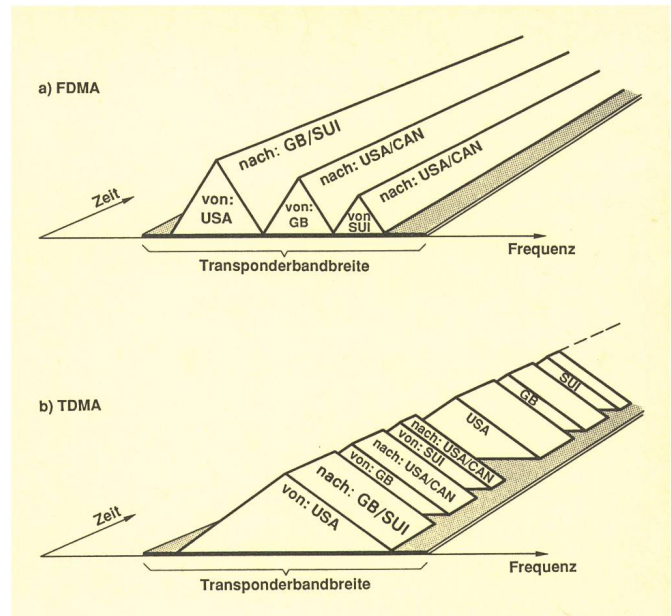


Fig. 2a und 2b
Unterschied zwischen FDMA und TDMA

mer benötigen nur 25 anstatt 50 doppeltgerichtete Verbindungspfade.

Für die volltransparente Übertragung digitaler Information (Datenkommunikation, z. Z. hauptsächlich Mietleitungen) wird die Sprachinterpolation ausgeschaltet (DNI = digital non interpolated).

5 TDMA/DSI-Systemkonzept und Parameter

TDMA ist ein digitales Mehrfachzugriffsverfahren zu Satelliten, bei dem jede einzelne Bodenstation repetitiv sehr kurze Signalpakete in Richtung Satellit sendet. In Fig. 4 sind Sende- und Empfangsteil der Stationen zur besseren Verständlichkeit getrennt dargestellt.

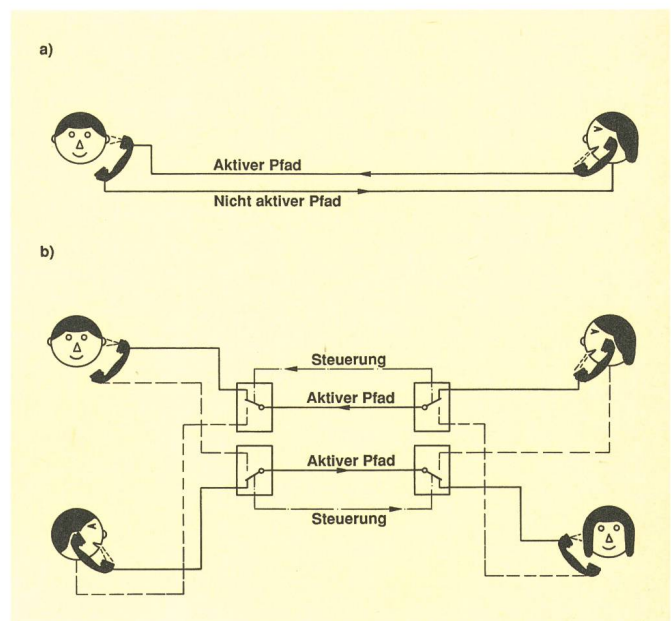


Fig. 3a und 3b
Sprechpfadschaltung ohne und mit Sprachinterpolation

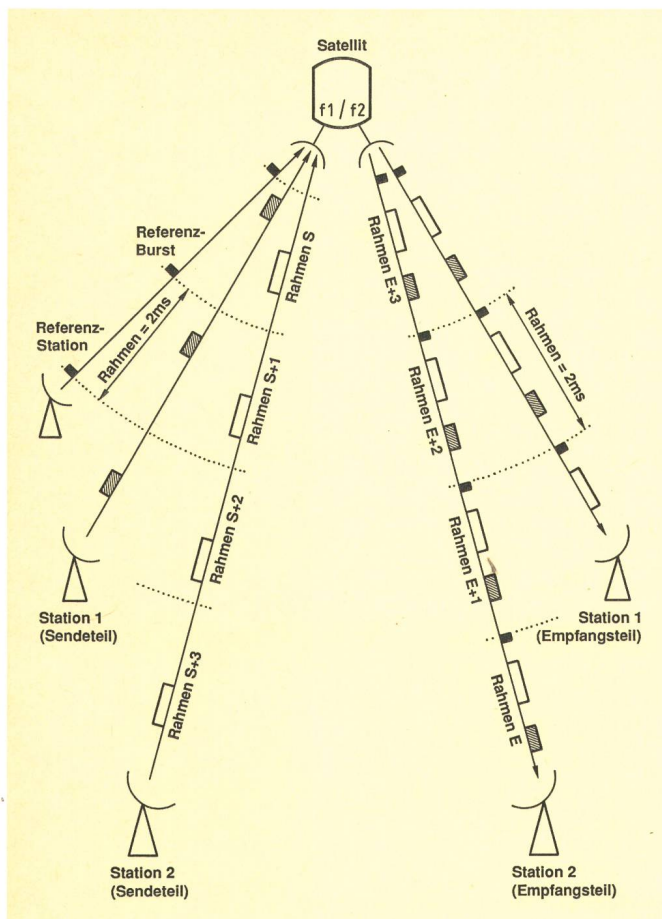


Fig. 4
TDMA-Prinzip

Damit beim Satelliten die Signalpakete der einzelnen Stationen in richtiger und zeitlich nicht überlappender Reihenfolge eintreffen, ist eine exakte Synchronisation aller Stationen untereinander notwendig. Ein kurzer Referenzburst definiert den Beginn des sogenannten Rahmens (Zeitabschnitt von 2 ms), in dem alle Stationen wiederkehrend ihre Bursts aussenden. Da die Systemverfügbarkeit weitgehend von diesem Referenzburst abhängt, senden zwei unabhängige ortsgetrennte Referenzstationen dauernd je einen Referenzburst, wobei allerdings nur einer taktangehend ist. Damit ist das System gegen einen Ausfall einer Referenzstation, bedingt durch technische Pannnen oder durch die jährlich zweimal stattfindende Sonneninterferenz, abgesichert.

Mit der Bitrate von 120,832 Mbit/s ergibt sich im 2 ms langen Rahmen eine Bruttokapazität von 241 664 bit. Da mit Kanalbitraten von 64 kbit/s gearbeitet wird, und damit in jedem 2-ms-Rahmen 128 bit je Sprachkanal übertragen werden müssen, stünden in einem Transponder maximal 1888 Sprach- bzw. Datenkanäle zur Verfügung. Wegen der Referenzbursts, den notwendigen Schutzabständen zwischen den Verkehrsbursts und den jedem Burst vorangestellten Daten für Steuer- und Hilfsfunktionen liegt die Nettokapazität bei etwa 1500 Kanälen. Mit Sprachinterpolation können damit 3000...3500 Sprachkanäle/Transponder zur Verfügung gestellt werden.

Die Daten sind dem hochfrequenten Burstträgersignal (6-GHz-Band im Intelsat-, 14-GHz-Band im Eutelsat-Netz) mit dem QPSK-Verfahren (quadrature phase shift

keying) aufmoduliert. Die Werte von jeweils zwei aufeinanderfolgenden Bits bilden ein sogenanntes Symbol und bestimmen, welche der vier möglichen Phasenlagen der Sendeträger momentan einnimmt (absolute Codierung).

Von der Möglichkeit der Frequenzwiederverwendung durch geographische Antennendiagrammaufteilung und Doppelpolarisationsbetrieb wird, zum Erreichen der notwendigen Gesamtkanalkapazität, auch beim TDMA-System Gebrauch gemacht. Die TDMA-Ausrüstung ist demnach in der Lage, Bursts sequentiell in verschiedene Transponder abzuschicken oder solche von verschiedenen Transpondern sequentiell zu empfangen. *Figur 5* zeigt die Beschaltung der Transponder im Eutelsat-Satelliten und deutet die Zugriffspfade der Bodenstationen an.

51 Rahmenstruktur

Figur 6 zeigt den typischen Aufbau des 2-ms-TDMA-Rahmens sowie der für Steuer- und Überwachungszwecke zusätzlich definierten Multirahmen (16 Rahmen bzw. 32 ms), Kontrollrahmen (32 Multirahmen oder 1024 ms) und Superrahmen (16 Kontrollrahmen entsprechend 16 384 ms). Jeder dieser Rahmen hat spezielle Funktionen:

2-ms-Rahmen

Übertragung von zwei Referenzbursts der Primär- und Sekundärreferenzstation und der Verkehrsbursts (in Figur 6 vereinfacht dargestellt).

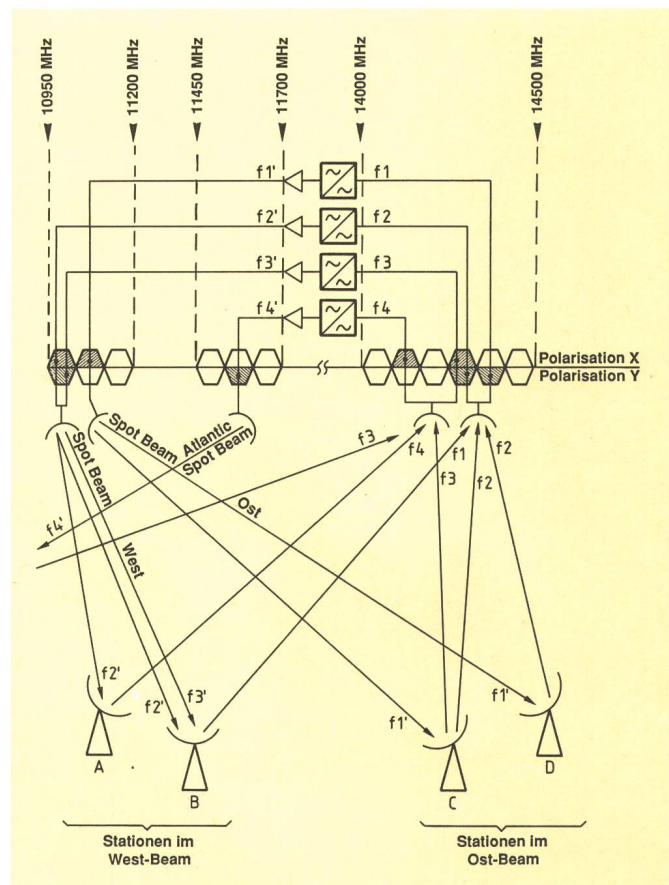


Fig. 5
Beschaltung der Satellitentransponder (Eutelsat)

 TDMA-Transponder

☐ Transponder für andere Dienste

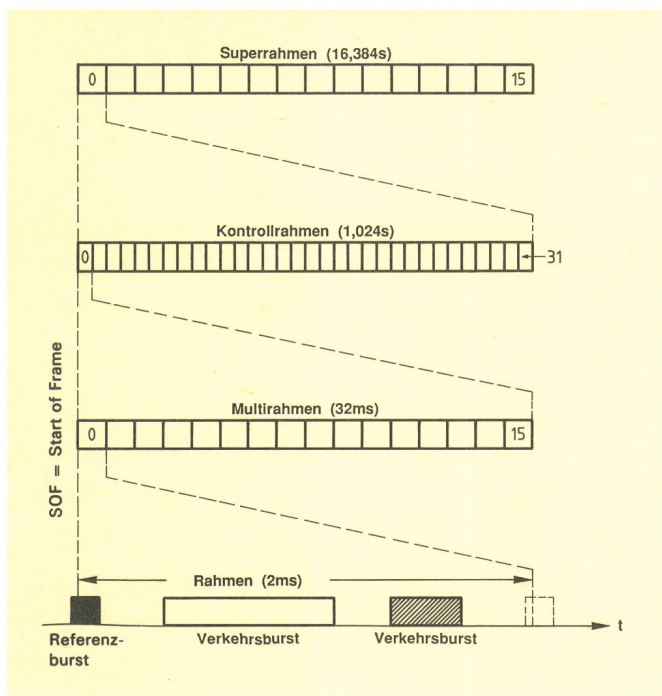


Fig. 6
TDMA-Rahmenstruktur

Multirahmen

Im Zeitraum eines Multirahmens werden jeweils komplette Kontroll- und Servicemeldungen zwischen Referenz- und Verkehrsterminal oder zwischen den Verkehrsterminals ausgetauscht (über Kontroll- und Servicekanal).

Kontrollrahmen

Innerhalb eines Kontrollrahmens wird jedes der maximal 32 Verkehrsterminals mit neuen Kontroll- und Service-daten von den Referenzstationen versorgt.

Superrahmen

Das Zeitintervall von etwa 16 Sekunden dient der Koordination (count-down) von Burst-Zeitplanwechseln und der Steuerung von Verkehrsterminals, die neu oder nach Unterbruch wieder ins Netz zugeschaltet werden.

52 Referenzburststruktur

Figur 7a zeigt den Aufbau eines Referenzbursts. Der zeitliche Ablauf geht von links nach rechts vor sich. Ein einfaches Bitmuster (alles 1 und dann abwechselnd 1010) am Anfang des Bursts dient der Trägersynchronisation und der Taktrückgewinnung auf der Empfangsseite. Das nachfolgende Kennwort (UW = unique word) erlaubt der Empfangsstation die Bestimmung der absoluten Phasenlage und damit die eindeutige Demodulation des QPSK-Signals sowie die Unterscheidung zwischen Referenz und Verkehrsburst. Das letzte Symbol dieses Kennwortes im Referenzburst der Primär-Referenzstation definiert zudem den Rahmenbeginn (SOF = start of frame), auf den alle übrigen Burstpositionen bezogen sind. Es sei hier erwähnt, dass die Referenzbursts verschiedener Transponder untereinander zeitlich ebenfalls starr verknüpft werden müssen, um das Transponder-Hopping zu erlauben.

Mit den folgenden acht Symbolen stehen acht Telexkanäle (TTY) für Dienstverbindungen zur Verfügung.

Über den Servicekanal (SVC) steuern die Referenzstationen den Ablauf (count-down) von Burstzeitplanwechseln, d. h. die unterbrechungsfreie netzweite Anpassung der Bursts, der Kanalkapazitäten und Kanaluordnungen an die aktuellen Bedürfnisse. Ausserdem können die Sendesignale einzelner Verkehrsterminals bei Problemen ferngesteuert abgeschaltet werden.

Die zwei Sprachkanäle (VOW = voice over wire) dienen als Dienstkanäle zwischen den TDMA-Terminals. Über diese Verbindung werden, vor einem Burstzeitplanwechsel, zudem alle Rechner in den einzelnen Verkehrsterminals mit den notwendigen neuen Betriebsdaten versorgt.

In den abschliessenden acht Symbolen (CDC = control and delay channel) werden den Verkehrsterminals die augenblicklichen Betriebszustände der zwei Referenzstationen übermittelt, und neu ins System eintretende Stationen werden nach genau festgelegten Prozeduren von den Referenzstationen ferngesteuert zugeschaltet. Zudem wird jedem Verkehrsterminal eine vorausberechnete Zeit übermittelt, mit der die zu sendenden Bursts gegenüber dem empfangenen Rahmenbeginn (SOF) zu verzögern sind, um auf dem Satelliten zeitlich richtig einzutreffen.

Zwecks Fehlererkennung und -korrektur sind die wichtigsten Datenpakete mit Redundanzsymbolen versehen.

53 Verkehrsburststruktur

Mit Ausnahme des fehlenden Kontrollkanals (CDC) entspricht der Aufbau des ersten Teils der Verkehrsbursts dem Referenzburst (Fig. 7b). Der Servicekanal (SVC) wird hier aber für die Übertragung von Alarminformationen zwischen den Verkehrsterminals verwendet und meldet die aktuell am TDMA-Terminal eingestellten Verzögerungszeiten gegenüber dem Rahmenbeginn (SOF), zur Kontrolle, an das zuständige Referenzterminal.

Anschliessend an diesen bereits bekannten Burstteil folgen die eigentlichen Verkehrsdaten. In Paketen von jeweils einigen bis zu maximal 127 Satellitenkanälen folgen bis zu acht Sub-Bursts. Jeder Sub-Burst wird physikalisch in einer eigenen Einheit (TIM = terrestrial interface module) generiert. Die ersten 64 Symbole bilden den Zuordnungskanal (AC = assignment channel) und dienen dem Austausch von Kanalbelegungsinformationen zwischen den Sprachinterpolationsschaltungen der beteiligten Partnerstationen.

Im Eutelsat-Netz werden vorgängig zudem noch Leitungssignalisierungsdaten (LSC = line signalling channel) übertragen. Unter anderem betrifft dies das jedem Sprach- oder Datenkanal zugehörige A- und B-Bit aus dem Zeitschlitz sechzehn der terrestrischen digitalen 2-Mbit/s-Bündel (R2-Leitungssignalisierung nach CCITT). Im Intelsat-Netz wird ausschliesslich mit dem Sprachbandsignalisierungssystem CCITT Nr. 5 gearbeitet.

Jeder der maximal 127 sprachinterpolierten Satellitenkanäle (DSI-SC) je Sub-Burst enthält 64 Symbole bzw. 128 bit, was 16 Abtastmustern des analogen Sprach-

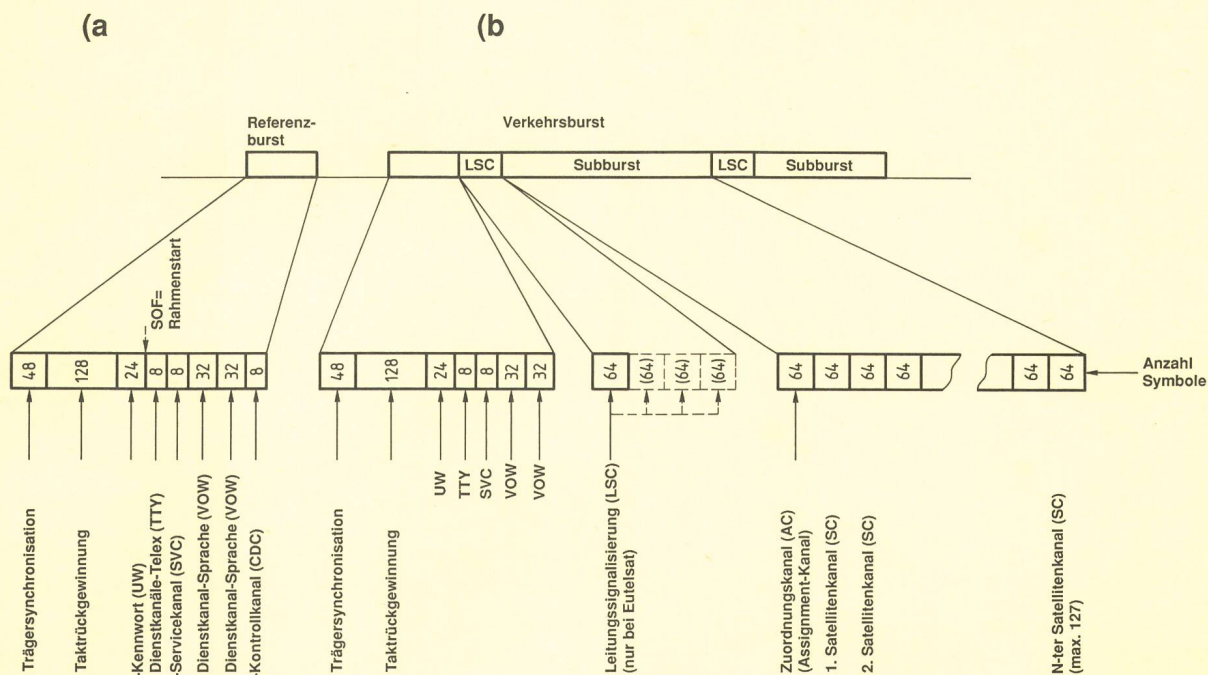


Fig. 7a und 7b
Struktur der Referenz- und Verkehrsbursts

signals entspricht (16 Samples je 2 ms ergibt die bekannte Abtastfrequenz von 8 kHz).

Für Datenanwendungen wird im hinteren Teil der Sub-Bursts die nötige Anzahl Satellitenkanäle im nicht interpolierten Mode betrieben (DNI-SC).

Um die Bitfehlerrate über die Satellitenstrecke zu verbessern, kann im Intelsat-Netz bei Bedarf eine fehlerkorrigierende Zusatzcodierung vorgenommen werden (FEC = forward error correction).

54 Aufschaltung und Synchronisation

Grundsätzlich ist kein TDMA-Betrieb ohne Präsenz der Referenzstation bzw. der Referenz-Bursts möglich. Sobald ein Verkehrsterminal den Referenz-Burst richtig empfängt, wird es einen sehr kurzen «Test»-Burst aussenden. Damit werden, auch bei kleinen Abweichungen der Burstposition vom Sollwert, die bereits über den Satelliten geführten Bursts anderer Stationen nicht gestört. Hat die zuständige Referenzstation die Lage des «Test»-Bursts überprüft und allenfalls korrigiert, wird dem Terminal ferngesteuert die Erlaubnis zur Aussendung aller Bursts in normaler Länge gegeben.

In diesem synchronisierten Zustand sind die Verbindungen zu den Partnerstationen hergestellt. Obwohl mit geostationären Satelliten gearbeitet wird, bleibt der Satellit gegenüber der Erde nicht absolut stabil (Schwerkrafteinflüsse von Erde, Mond und Sonne). Deshalb errechnet die Referenzstation ständig die aktuellen Burstverzögerungszeiten und übermittelt diese an die Verkehrsterminals, wo eine automatische Nachführung erfolgt. Beim Auftreten von Problemen ist die Referenz-

station jederzeit in der Lage, das Aussenden von Bursts einzelner oder aller Verkehrsterminals zu unterdrücken.

55 Hilfsfunktionen

Folgende Hilfsfunktionen sind im Systemkonzept vorgegeben:

- Leitungsprüfungstest zwischen den Verkehrsterminals in zeitlichen Abständen von zehn Sekunden
- Dienstkanäle für Sprechverbindungen zwischen den Bodenstationen
- Dienstkanäle für Telexverbindungen zwischen den Bodenstationen
- Alarmsrückmeldungen zu der sendenden Bodenstation, falls der empfangene Burst fehlt (unique word loss) oder die gemessene Bitfehlerrate über einen bestimmten Wert ansteigt
- Übermittlung der Burstzeitplaninformation von der Referenzstation zum betreffenden Verkehrsterminal. In diesem Zeitplan sind alle für das Terminal wichtigen Parameter festgehalten (z. B. Position und Länge der zu sendenden und zu empfangenden Bursts, Bezeichnung des Transponders zu/von dem gesendet/empfangen wird, Definition der zu sendenden und zu empfangenden Sub-Bursts, Bezeichnung der zu verwendenden Dienstkanäle usw.)

6 TDMA/DSI-Ausrüstungen

Figur 8 zeigt das Blockschnittbild eines TDMA-Terminals einschliesslich der zugehörigen HF- und ZF-Einrichtungen und andeutungsweise die verschiedenen Möglichkeiten des terrestrischen Zubringers. Zwecks besserer Übersicht wurde die vorhandene Geräteredundanz nicht

dargestellt. Die folgenden wichtigen Anlagenteile werden nachstehend einzeln beschrieben:

- Terrestrische Interface-Ausrüstung
- DSI/DNI-Ausrüstung
- CTTE (common TDMA terminal equipment)
- Modem
- Hopping switch
- HF/ZF-Ausrüstung
- Steuer- und Überwachungs-ausrüstung

61 Terrestrische Interface-Ausrüstung (TIE)

Die Schnittstelle zum terrestrischen Netz basiert auf den Empfehlungen G.703 und G.732 des CCITT, d. h. es wird mit HDB-3 codierten 2-Mbit/s-Kanalbündeln zu je 30 Sprach- bzw. Datenkanälen (64 kbit/s) gearbeitet. Jeweils zehn derartige 2-Mbit/s-Bündel (300 Kanäle zu je 64 kbit/s) werden sende- und empfangsseitig über das TIE (terrestrial interface equipment) an eine DSI/DNI-Einheit angeschlossen.

Im TIE (Fig. 10a und 10b) werden die Rahmen der zehn ankommenden terrestrischen Signale gegenseitig synchronisiert, und ein Codewandler passt den HDB-3-Code an den in der DSI-Einheit verwendeten Code und Pegel an. Ausserdem sorgen entsprechend dimensionierte

Speicher sende- und empfangsseitig dafür, dass die minimalen Abweichungen der Taktfrequenzen zwischen dem terrestrischen Netz und dem Satellitennetz (plesiochroner Betrieb) höchstens alle 70 Tage zu einem kontrollierten Datenverlust oder zu einer Datenwiederholung von 8 Bit je 64-kbit/s-Kanal führen (CCITT-Empfehlung G.811). Die gleichen Speicher übernehmen zudem den Ausgleich von Frequenzänderungen, hervorgerufen durch die im 24-Stunden-Rhythmus stattfindende Bewegung des Satelliten gegenüber der Erde (Doppler Effekt).

62 DSI/DNI-Ausrüstung

Figur 9 zeigt die Frontansicht der TIE- und DSI-Ausrüstung. Nach Systemspezifikation werden je DSI/DNI-Einheit ein Sende-Sub-Burst und bis zu acht Empfangs-Sub-Bursts mit total höchstens 127 Satellitenkanälen verarbeitet. Je TDMA-Terminal können bis zu 16 DSI/DNI-Einheiten eingesetzt werden. Die DSI/DNI-Ausrüstung hat sendeseitig folgende Aufgaben (Fig. 10a):

- Frei programmierbare, aber statische Auswahl von maximal 240 Kanälen (IC = international channels) aus den 300 terrestrischen Kanälen (TC = terrestrial channels). Dies erlaubt innerhalb gewisser Grenzen eine Kanalrangiermöglichkeit

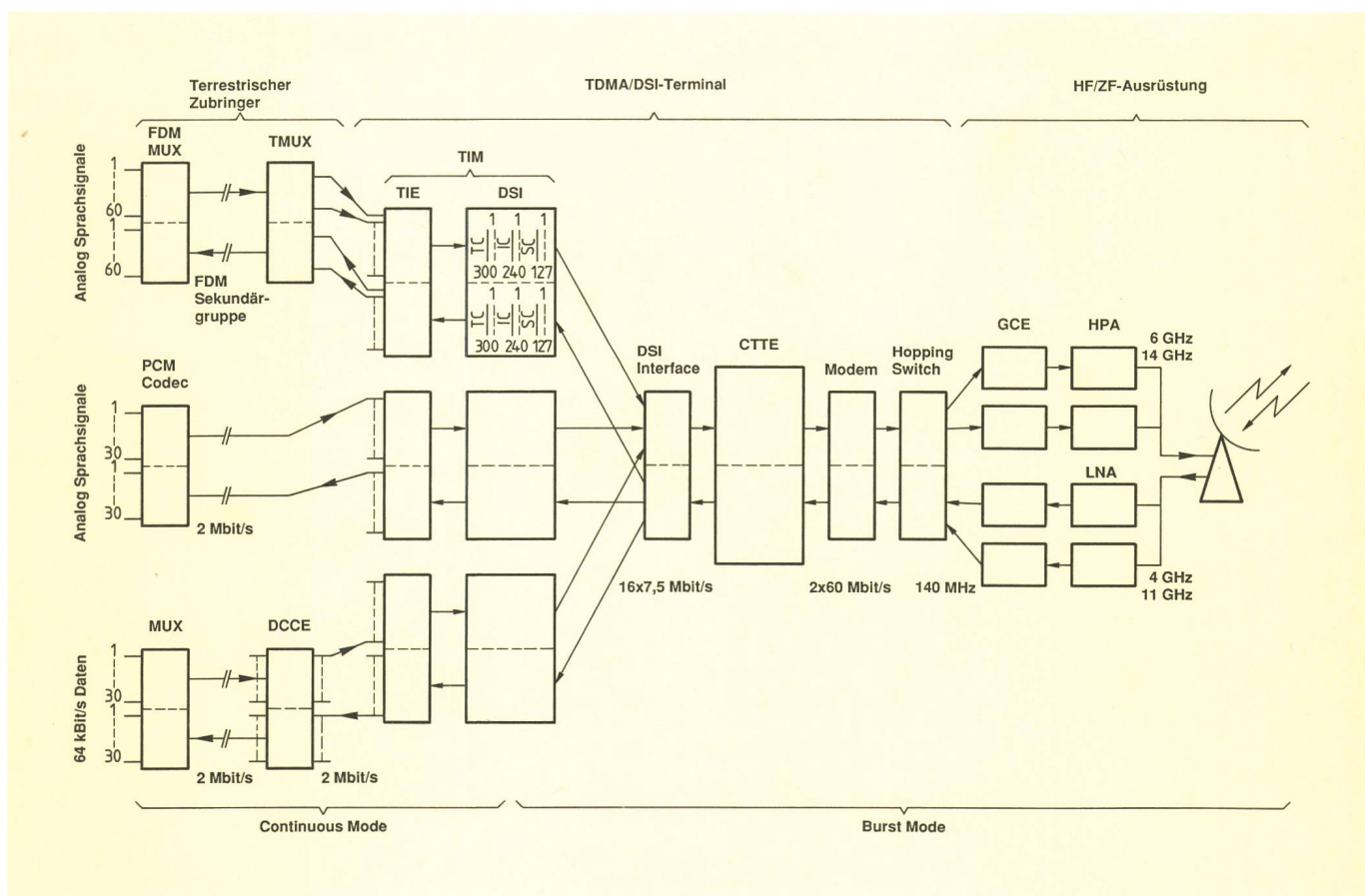


Fig. 8
Blockschema des TDMA/DSI-Terminals inkl. HF/ZF-Einrichtungen und terrestrischem Zubringer (ohne Geräteredundanz und Steuerungs-/Überwachungseinrichtungen)

FDM Frequency Division Multiplex
PCM Pulse Code Modulation
MUX Multiplexer
DCCE Digital Cross Connection Equipment
TMUX Transmultiplexer
TIM Terrestrial Interface Module

TIE Terrestrial Interface Equipment
DSI Digital Speech Interpolation
CTTE Common TDMA Terminal Equipment
GCE Ground Communications Equipment
HPA High Power Amplifier
LNA Low Noise Amplifier

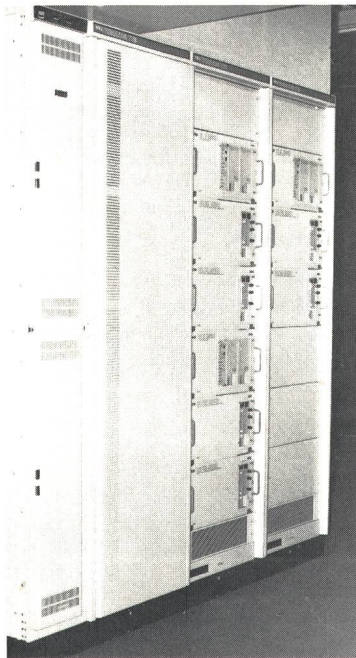


Fig. 9
TIE/DSI-Ausrüstung (inkl. DSI-Interface)

- Sprachdetektion auf allen sprachinterpolierten internationalen Kanälen. Wegen der dazu erforderlichen Zeit von wenigen ms, muss das durchzuschaltende

Signal zwischengespeichert werden, um den Sprachbeginn nicht zu stören (clipping).

- Dynamische Durchschaltung der sprachaktiven Kanäle (DSI) auf die über den Satelliten fix geschalteten 64-kbit-Kanäle (SC = satellite channels) bzw. feste Durchschaltung aller nichtinterpolierten Kanäle (DNI).
- Erzeugung eines 1 s dauernden Testsignals, das alle 10 s auf einen unbesetzten Satellitenkanal geschaltet wird.
- Bereitstellung von Überlastkanälen aus DSI-Satellitenkanälen. Tritt kurzfristig der Fall auf, dass einzelne internationale Kanäle (IC) keinen freien Satellitenkanälen (SC) zugewiesen werden können, wird aus jeweils sieben DSI-Satellitenkanälen ein Bit (least significant bit) zur Bildung eines Überlastkanals verwendet. Maximal können 16 derartige Überlastkanäle je DSI-Einheit gebildet werden.
- Erzeugen des mit der aktuellen Kanalschaltungsinformation versehenen Zuordnungskanals (AC = assignment channel).
- Bildung des zu sendenden Sub-Bursts aus dem Assignmentkanal, den DSI-Kanälen und den DNI-Kanälen.

Auf der Empfangsseite werden bis zu acht empfangene Sub-Bursts verschiedener Partner in einer DSI/DNI-Einheit verarbeitet (Fig. 10b):

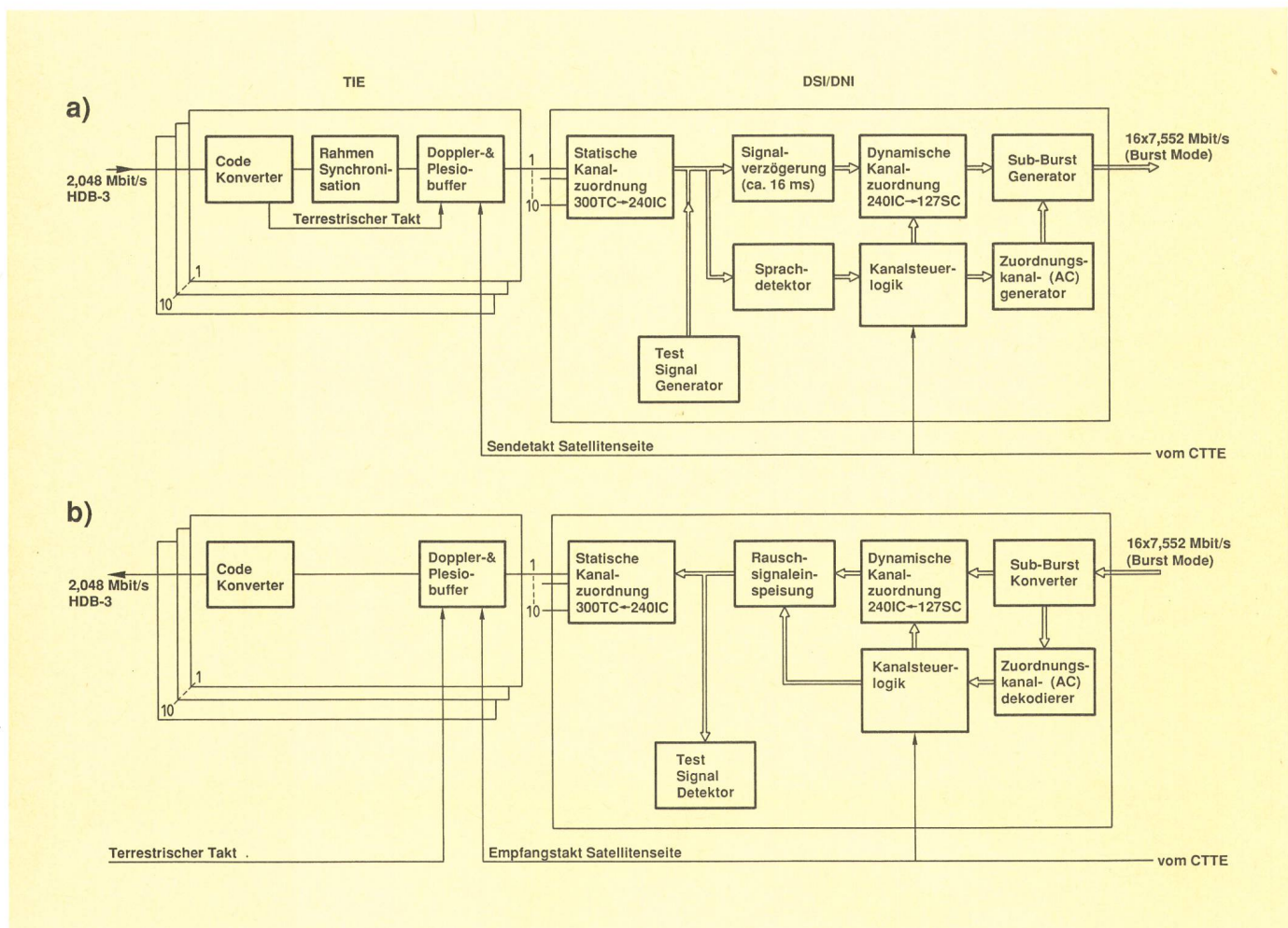


Fig. 10a und 10b
Blockschema der TIE/DSI-Ausrüstung

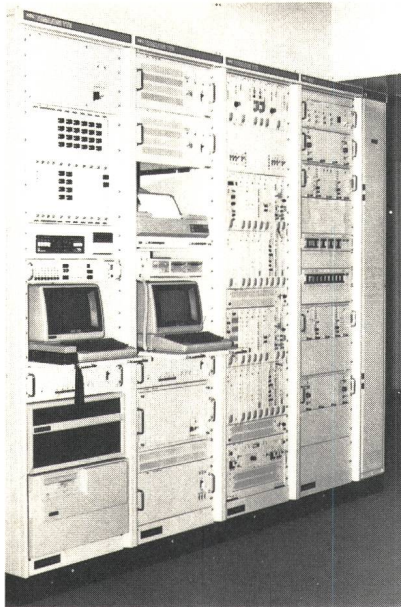


Fig. 11
CTTE inkl. Modem, hopping switch (rechts) und Steuer-/Überwachungs-ausrüstung (links)

- Feste Durchschaltung der empfangenen DNI-Kanäle.
- Rückgewinnung allfälliger Überlastkanäle aufgrund der aus dem Assignmentkanal gewonnenen Information
- Detektion und Prüfung der von den Gegenstationen alle 10 s gesendeten Testsignale
- Einspeisen eines schwachen Rauschsignals in Richtung lokalem Teilnehmer in alle z. Z. nicht über den Satelliten geschalteten DSI-Kanäle. Damit wird dem Gesprächsteilnehmer das Gefühl vermittelt, immer noch mit dem Partner verbunden zu sein, obwohl die Verbindung über den Satelliten momentan nicht durchgeschaltet ist
- Feste Zuordnung der maximal 240 internationalen Kanäle zu den bis zu 300 terrestrischen Kanälen (programmierbares Rangierfeld).

63 CTTE (common TDMA terminal equipment)

Das CTTE bildet den zentralen Teil eines TDMA-Terminals (Fig. 11). Seine wichtigsten Funktionen sind:

Sendeseite (Fig. 12a):

- Die Sub-Bursts der verschiedenen DSI/DNI-Einheiten werden multiplexiert

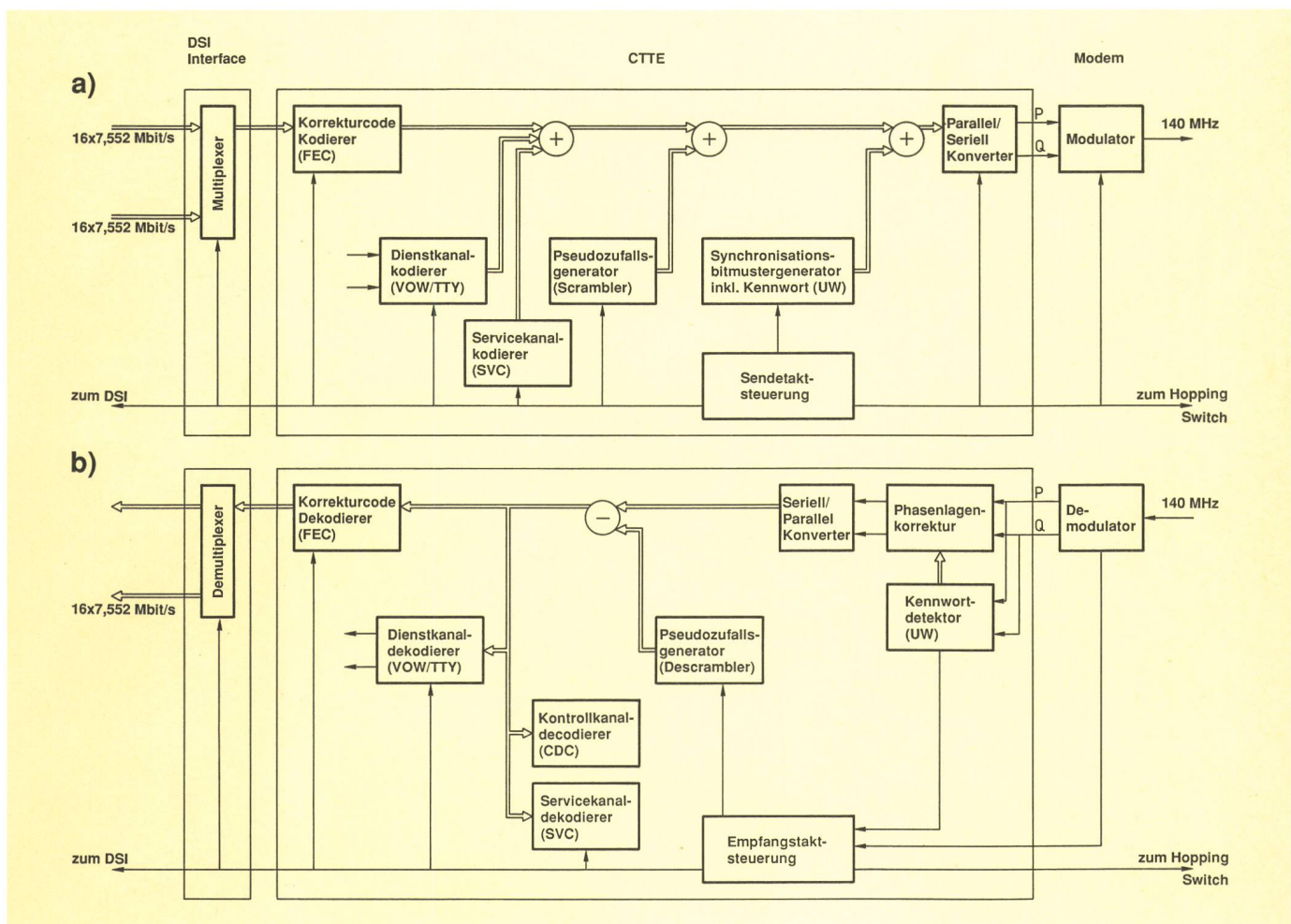


Fig. 12a und 12b
Blockschema des CTTE

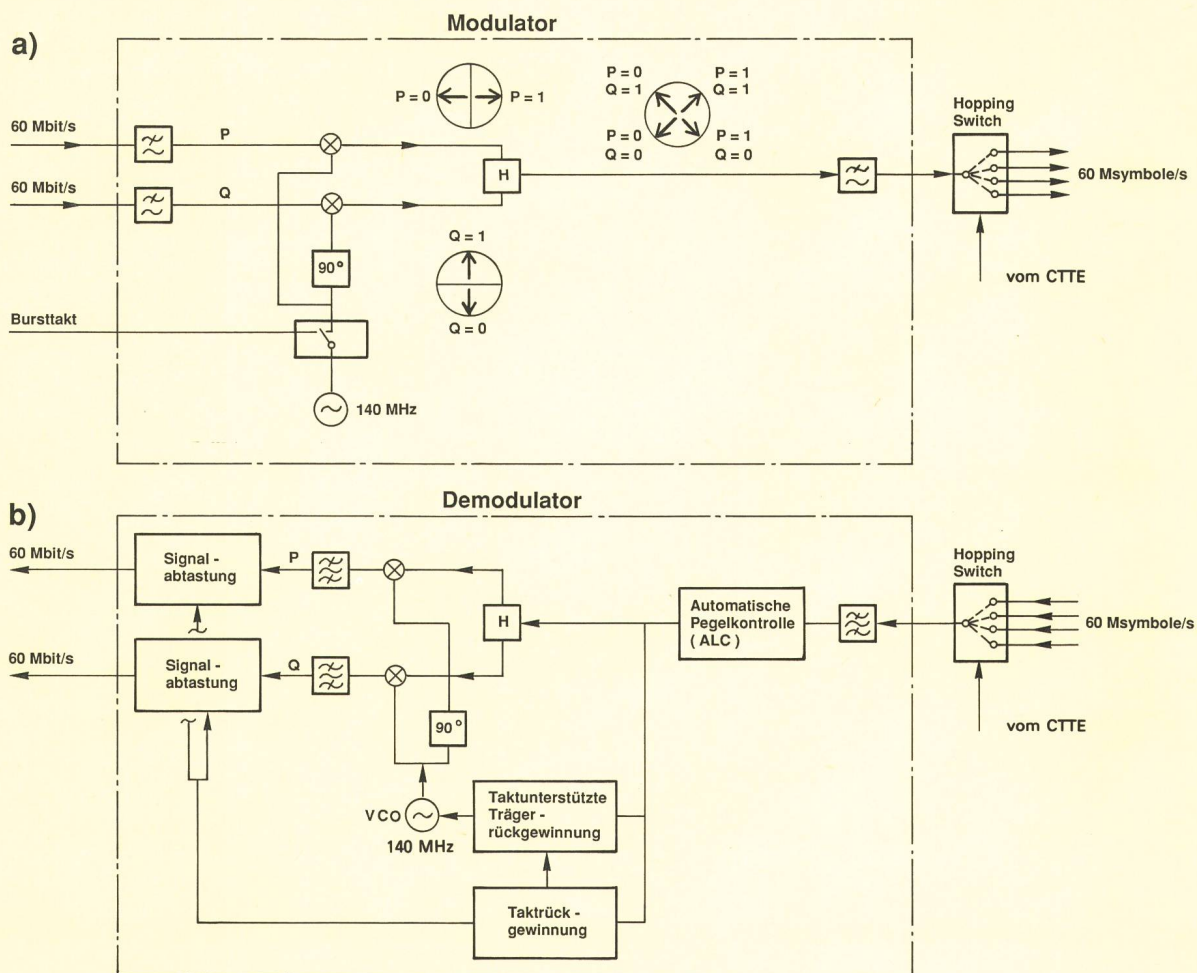


Fig. 13a und 13b
Blockschema des 120-Mbit/s-TDMA-Modems inkl. hopping switch

- Wenn im Burst-Zeitplan vorgesehen, wird der entsprechende Sub-Burst mit dem Fehlerkorrekturcode beaufschlagt (FEC)
- Die Bits für die Sprach- und Telegraphiedienstkanäle (VOW/TTY), den Servicekanal (SVC), das Kennwort (UW) sowie das Bitmuster zur Synchronisation werden an der richtigen Stelle den Sub-Bursts zugefügt
- Mit Ausnahme des Synchronisationsbitmusters und des Kennwortes werden die Daten mit einer Pseudozufallsbitfolge verknüpft (scrambler). Damit wird der Bildung von stark ausgeprägten Spektrallinien im Sendespektrum vorgebeugt
- Mit einer Parallel/Seriell-Wandlung werden aus 16 Bitströmen zu je 7,5 Mbit/s zwei 60-Mbit/s-Signale zur direkten Ansteuerung des Modulators geformt (P- und Q-Daten).

Empfangsseite (Fig. 12b):

- Nur die gemäß Burst-Zeitplan für das entsprechende Terminal bestimmten Bursts werden verarbeitet
- Aus den empfangenen Bursts (zwei 60-Mbit/s-Signale vom Demodulator) wird auf Grund des Kennwortes die richtige Phasenlage ermittelt
- Nach der Seriell/Parallel-Wandlung (Übergang von ECL auf TTL Logik) wird die beim Senden hinzuge-

fügte Pseudozufallsfolge wieder von den Nutzdaten subtrahiert (descrambler)

- Der Servicekanal und die Sprach- und Telegraphiedienstkanäle werden entnommen und verarbeitet
- Die Daten im Kontrollkanal der Referenz-Bursts (CDC) werden decodiert und verarbeitet
- Der Fehlerkorrekturcode (FEC) wird zur Korrektur von allfällig auf der Strecke aufgetretenen Übertragungsfehlern verwendet
- Die Sub-Bursts werden zu den entsprechenden DSI/DNI-Einheiten geleitet.

Weitere Aufgaben des CTTE:

- Steuerung des richtigen Zeitpunktes zur Aussendung der Bursts aufgrund der von der Referenzstation übermittelten Daten
- Steuerung der Prozeduren zur Aufschaltung und Synchronisation ins Netz unter Kontrolle der Referenzstationen
- Steuerung von Burst-Zeitplan- und Kanalwechseln
- Generierung von hochstabilen lokalen Frequenzen und Synchronisation auf die Systemfrequenz
- Empfang und Auswertung der von den Partnerstationen übermittelten Alarme

- plituden- und Gruppenlaufzeitverhalten werden jedoch wesentlich höhere Anforderungen gestellt, was den Einsatz spezieller Entzerrer erforderlich macht. Zudem müssen die elektrischen Signallaufzeitunterschiede in redundanten Ausrüstungen kleiner als 32 ns sein, um bei Redundanzumschaltungen die Synchronisation nicht zu verlieren. Neu ist auch der Betrieb im 11/14-GHz-Band beim Eutelsat-Netz (Intelsat = 4/6-GHz-Band).

Die im CTTE gebildeten zwei Datenströme zu je 60 Mbit/s (Q- und P-Daten) werden einem QPSK-Modulator zugeführt. Am Ausgang steht ein auf 140 MHz modulierte 60-Megasymbol/s-Signal zur Verfügung (Fig. 13a).

Durch hochentwickelte Träger- und Taktrückgewinnungsschaltungen gelingt auf der Empfangsseite eine Demodulation mit sehr guten Bitfehlerraten auch bei relativ schlechten Signal-/Geräuschabständen (*Fig. 13b*).

Um Bursts sequentiell in verschiedene Transponder (d. h. unterschiedliche Frequenzbänder oder Polarisationen) senden und von verschiedenen Transpondern empfangen zu können, werden sende- und empfangsseitig schnelle PIN-Dioden-Schalter eingesetzt, die einzelne Bursts auf verschiedene Sende- oder Empfangsketten leiten können (Fig. 13a und b).

Die sende- und empfangsseitigen HF- und ZF-Komponenten sind grundsätzlich vergleichbar mit den entsprechenden Ausrüstungen bei FDMA-Anlagen. An das Am-

Figur 14 zeigt das Blockschema der Steuer- und Überwachungsausrüstung des TDMA-Terminals, und Figur 15 vermittelt einen Eindruck von den Geräten, mit denen das Betriebspersonal die Anlage steuert und überwacht.

Um die geforderte hohe Verfügbarkeit der TDMA-Ausrüstung zu gewährleisten, sind praktisch alle verkehrsführenden Anlageteile redundant vorhanden.

Die Alarmdetektion und die automatische Redundanzumschaltung werden aus Zuverlässigkeitsgründen von einer ebenfalls redundanten Mikroprozessorlogik übernommen. Zwei zugehörige Bedienungspaneele erlauben die Überwachung und manuelle Redundanzsteuerung.

Der übergeordnete Minicomputer sammelt und speichert alle eingehenden Alarme und Betriebszustände, zeigt diese Parameter auf Abfrage an, erlaubt die Erstellung von Statistiken über die Systemauslastung, erzeugt das Protokoll für den Empfang der Burst-Zeitplandaten von der Systemleitstelle bei Eutelsat oder Intelsat, verar-



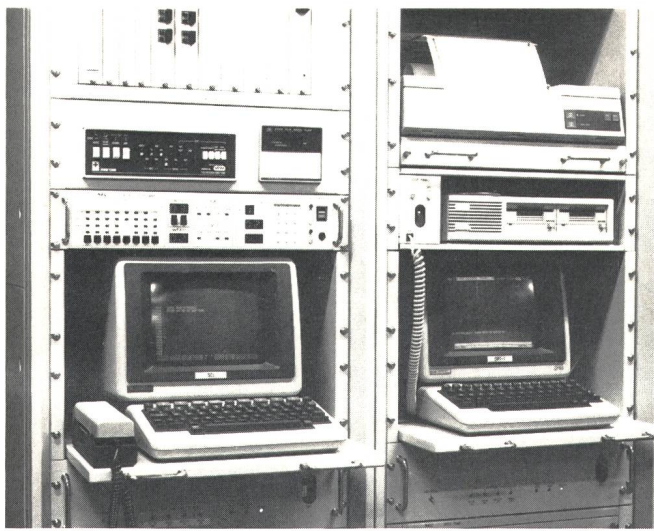


Fig. 15
Bedienungsausrüstung

beitet den empfangenen Burst-Zeitplan und die Kanalzuordnungsdaten, prüft alle anderen vom Bedienungspersonal einzugebenden Daten, startet und überwacht lokale Selbsttests, vergleicht die gespeicherten Daten im TDMA-Terminal periodisch mit den Vorgabedaten usw. Bei einem Ausfall des Minicomputers geht der Betrieb ohne Unterbruch weiter. Bis zum Abschluss der Reparatur können die Hauptfunktionen, wie Steuerung wichtiger Parameter im CTTE oder Laden der Daten in die Speicher von CTTE und DSI, mit einem der Personalcomputer durchgeführt werden.

7 Testeinrichtungen

Die neuartigen Techniken und die von Intelsat und Eutelsat vorgeschriebenen Tests über den Satelliten bedingen z. T. neue Test- und Messeinrichtungen. Figur 16 zeigt diese Geräte und ihren Bezug zum TDMA-Terminal schematisch.

71 Eingebaute Testgeräte

Neben automatisch oder manuell ablaufenden Selbsttests, die die Funktion der Anlage prüfen, sind folgende Testgeräte in jedem Terminal fest eingebaut:

- Mit dem Referenz-Burst-Generator können zwei Referenz-Bursts erzeugt werden. Ein spezieller Burst-Zeitplan erlaubt den Betrieb in einer lokalen Schleife. Viele Aufschalt- und Synchronisationsprozeduren mit und ohne Einblendung von Fehlern sind damit simulierbar.
- Der Generator der Bitfehlerratenmeseinheit kann ein Pseudozufallsbitmuster in einen wählbaren Sub-Burst einspeisen. Auf der Empfangsseite, lokal oder beim Partner, wird dieses Bitmuster im Empfängerteil auf Bitfehler geprüft und das ermittelte Resultat angezeigt.

72 Testterminal

Um bei der Fehlerbehebung und der Reparatur von defekten Baugruppen das Risiko von Betriebsunterbrüchen nicht unnötig zu erhöhen, wurde aus den beschafften Reservebaugruppen mit möglichst geringem Zusatzaufwand ein nichtredundantes Testterminal erstellt (Fig. 17). Dieses ermöglicht auch eine praxisnahe Ausbildung des Betriebspersonals.

Mit speziellen Burst-Zeitplänen kann in einer lokalen Schleife oder mit einem der drei TDMA-Terminals in einer «Back-to-back»-Konfiguration gearbeitet werden.

In das Testterminal sind ausserdem ein Gerät zur Prüfung von DSI-Baugruppen (DSI-Tester) sowie ein Gerät zum Testen von CTTE-Baugruppen (Error-Generator) integriert.

73 Modemtester

Zur Prüfung des 120-Mbit/s-Modems wird der Modulator mit einem Burst-Mode-Pseudozufallsignal angespiesen. Ein zweiter Burst, zusammen mit einem zwischenfrequenten Rauschsignal, wird als Störsignal zugefügt.

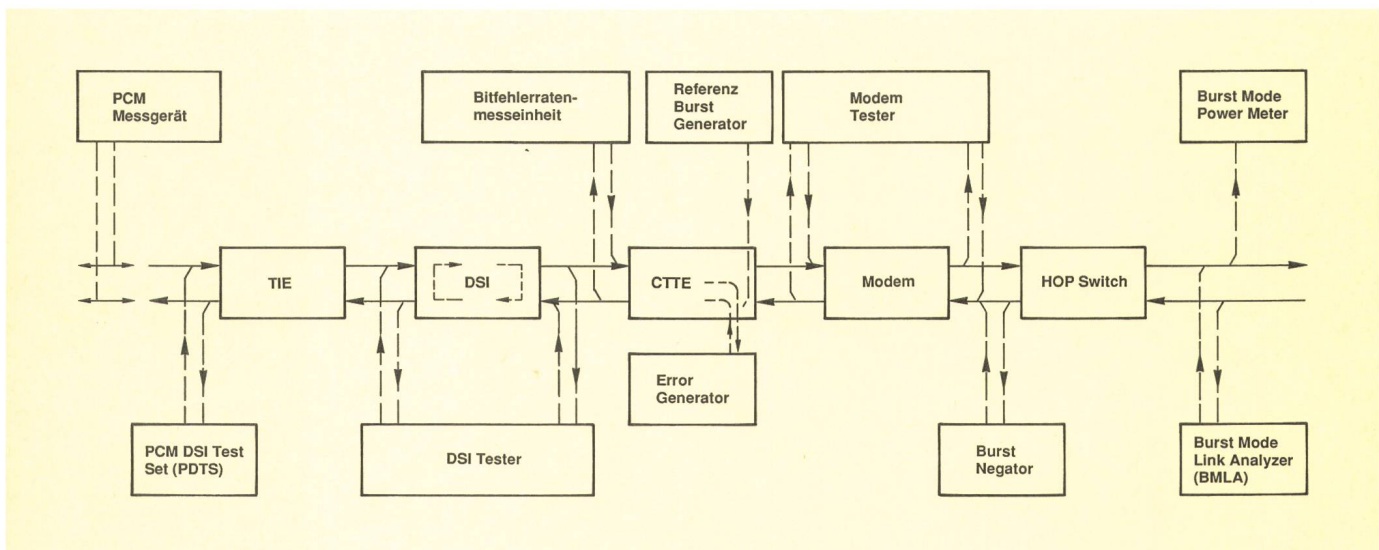


Fig. 16
TDMA/DSI-Testausrüstungen

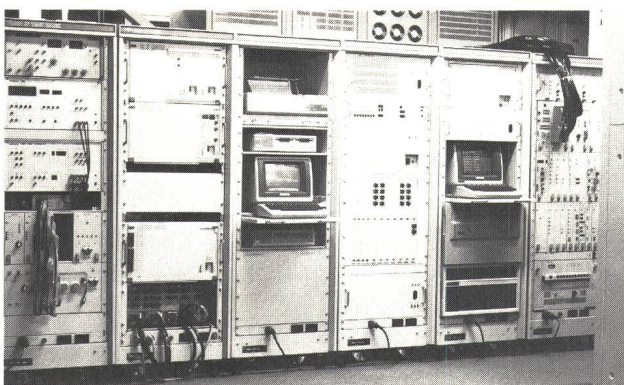


Fig. 17
TDMA-Testterminal

Aus dem demodulierten Signal wird die Bitfehlerrate und die Zahl der unerkannten Kennwörter ermittelt.

74 Burst Negator

Um das Aufschalt- und Synchronisationsverhalten des TDMA-Terminals in allen Belangen und auch unter gestörten Empfangsbedingungen simulieren zu können, ist eine Einrichtung erforderlich, die einen beliebigen Burst empfangsseitig ausblenden kann.

75 PCM-DSI-Testset (PDTS)

Die Komplexität des DSI/DNI-Prozesses, und demzufolge auch der DSI/DNI-Baugruppe, erfordert eine eingehende Kompatibilitätsprüfung der im TDMA-System eingesetzten DSI-Ausrüstungen verschiedener Lieferanten. Mit handelsüblichen 2-Mbit/s-PCM-Testgeräten sind Prüfungen, die das Hoch- und Überlastverhalten der DSI-Ausrüstung erfassen, sehr aufwendig, wenn nicht unmöglich. Ein spezielles Testgerät (PDTS) generiert programmgesteuert unterschiedliche Belastungsfälle, indem maximal 300 Kanäle mit aktiven Signalen belegt werden. Die richtige Durchschaltung sowie die Qualität der Verbindungen werden vom Gerät auf der Partnerstation vollautomatisch geprüft und protokolliert.

76 Burst mode link analyzer (BMLA)

Um den Amplituden- und Gruppenlaufzeitfrequenzgang des 80 MHz breiten Übertragungsfrequenzbandes auch im Betrieb messen zu können, muss auch das Messgerät im Burst-Mode arbeiten. Ein speziell entwickelter Link-Analyzer sendet sehr kurze Messbursts mit jeweils leicht versetzter Frequenz in einen dafür reservierten Zeitabschnitt innerhalb des 2-ms-Rahmens. Der Messempfänger auf der Partnerstation wertet diese Bursts auf Amplitude und Gruppenlaufzeit aus und stellt die Resultate auf einem Bildschirm dar. Das ermittelte Re-

sultat kann gleichzeitig über einen Dienstkanal zum sendenden Gerät zurück übermittelt und dort dargestellt werden.

77 Burst mode power meter

Der Stationsbetreiber ist für die Einhaltung einer konstanten Sendeleistung aller abgestrahlten Signale verantwortlich, was selbstverständlich auch für die verschiedenen Bursts gilt. Gewöhnliche Hochfrequenzleistungsmessgeräte sind nun aber nur zur Leistungsmessung von kontinuierlichen Signalen (CW) geeignet, weshalb auch hier ein spezielles Gerät beschafft werden musste.

78 Standard-PCM-Messgeräte

Für Messungen vom und zum terrestrischen Netz und für die engere Eingrenzung von Fehlern auf einzelnen Kanälen zwischen zwei Bodenstationen wird ein handelsüblicher 2-Mbit/s-PCM-Messplatz eingesetzt.

8 Terrestrische Verlängerung

Für die nachstehend beschriebenen Möglichkeiten der Verbindung des TDMA-Terminals auf der Bodenstation mit den internationalen Zentralen in der Schweiz wird auf Figur 8 verwiesen. Mit gewissen Ausnahmen ist der terrestrische Zubringer auf die Bodenstation in Leuk z. Z. noch in analoger Technik realisiert. Transmultiplexer übernehmen deshalb in Leuk die Analog/Digital-Wandlung von jeweils 60 Sprachkanälen (analoge Supergruppe auf zwei digitale 2-Mbit/s-Kanalbündel und umgekehrt) einschliesslich zugehöriger R2-Leitungssignalisierung für das Eutelsat-Netz. Ein separater Multiplexer (DCCE = digital cross connection equipment) erlaubt zudem die programmgesteuerte freie Zuordnung von allen 64-kbit/s-Kanälen aus zehn 2-Mbit/s-Eingangskanalbündeln in zehn 2-Mbit/s-Ausgangsbündel, und zwar in Sende- und Empfangsrichtung.

9 Betrieb und Ausblick

Erste Betriebserfahrungen in Leuk und auf anderen Bodenstationen bzw. TDMA-Netzwerken sind trotz der Komplexität dieser Technologie positiv. Es ist dennoch unübersehbar, dass eine derartige Anlage an das für Betrieb und Unterhalt zuständige Personal hohe Anforderungen stellt, insbesondere bei nicht auszuschliessen den kritischen Betriebssituationen. Trotzdem schreitet im Hintergrund die Entwicklung von ergänzenden Technologien rasch voran. Satelliten der nächsten Generation werden aktiv an der Echtzeitverteilung der empfangenen Signalbursts beteiligt sein (SS-TDMA = satellite switched TDMA), und Verfahren für zusätzliche Kapazitätserhöhungen durch bitratenreduzierende Codierverfahren bei Sprachübertragungskanälen (LRE = low rate encoding) sind in Entwicklung oder in Erprobung.