

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: 56 (1978)

Heft: 8

Artikel: Das Empfangsexperiment der PTT mit dem europäischen Testsatelliten OTS = Essais de réception réalisés par les PTT avec le satellite expérimental européen OTS

Autor: Heierli, Hanspeter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875215>

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: 30.04.2026

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

Das Empfangsexperiment der PTT mit dem europäischen Testsatelliten OTS

Essais de réception réalisés par les PTT avec le satellite expérimental européen OTS

Hanspeter HEIERLI, Bern

621.371.351.621.396.934.629.783

Zusammenfassung. Mit dem Testsatelliten OTS sind im europäischen Rahmen umfangreiche Messungen geplant, um einerseits das für den Satellitenfunk neu zu erschliessende 11/14-GHz-Frequenzband und andererseits neue Technologien und Übertragungstechniken zu untersuchen. Die Schweizer PTT beteiligen sich an diesen Versuchen mit einer kleinen Empfangsstation, um die Wellenausbreitung zirkular und linear polarisierter 11-GHz-Baken studieren zu können. Parallel dazu wird mit einem Radiometer die Himmelsrauschtemperatur gemessen.

Résumé. De nombreuses mesures portant sur le satellite expérimental OTS seront réalisées dans les pays européens, en vue d'étudier, d'une part, la nouvelle bande de fréquences 11/14 GHz, qui va s'ouvrir aux radiocommunications par satellites, et, d'autre part, pour analyser les nouvelles technologies et techniques de transmission. L'Entreprise des PTT suisses participe à ces essais au moyen d'une petite station réceptrice permettant d'étudier la propagation de signaux de balise à 11 GHz, émis selon les modes de polarisation circulaire et linéaire; parallèlement, un radiomètre est utilisé pour mesurer la température de bruit du ciel.

La prova di ricezione delle PTT con il satellite sperimentale europeo OTS

« Riassunto. Con il satellite sperimentale OTS è progettata l'esecuzione di importanti misurazioni sul piano europeo, al fine di analizzare, da un lato, la banda di frequenze 11/14 GHz da rendere accessibile alla radiotelefonia via satellite e, dall'altro, per mettere alla prova nuove tecnologie e tecniche di trasmissione. L'Azienda svizzera delle PTT partecipa a questi esperimenti con un piccolo posto di ricezione per studiare la propagazione delle onde di radiofari a 11 GHz a polarizzazione circolare e lineare. Contemporaneamente si misura con un radiometro la temperatura di rumore dello spazio.

1 Einführung

Die heutigen geostationären Fernmeldesatelliten arbeiten im Aufwärtspfad mit einer Frequenz um 6 GHz. Für den Abwärtspfad wird das 4-GHz-Frequenzband benutzt. Die starke Verkehrszunahme über Satelliten hat zur Folge, dass die gegenwärtig verwendeten Frequenzbänder nicht mehr ausreichen. Da die benachbarten Bänder bereits durch terrestrische Dienste belegt sind, muss man für künftige Satellitensysteme Frequenzen über 10 GHz vorsehen. Zudem will man mit der Dualpolarisation die gegebenen Übertragungsbänder doppelt ausnützen.

Der geplante europäische Kommunikationssatellit ECS soll deshalb im 11/14-GHz-Bereich betrieben werden. Das Intelsat-Netz, an das die Schweiz heute über die Bodenstation Leuk angeschlossen ist, soll ebenfalls auf diesen Frequenzbereich erweitert werden. Für einen allfälligen Rundfunksatelliten sind die Frequenzen um 12 GHz reserviert.

Im Gegensatz zu den bisherigen 4/6-GHz-Satellitenbändern ist bei Frequenzen über 10 GHz der wechselnde Einfluss der Atmosphäre auf die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen nicht mehr vernachlässigbar. Besonders Gewitterregen und Nassschneefall können die Verbindung zum Satelliten stark stören oder sogar unterbrechen. Die Störung kommt dadurch zustande, dass die elektromagnetische Energie von den Wassertropfen sowohl absorbiert als auch reflektiert wird.

Die Zusammenhänge zwischen Niederschlägen und der Wellenausbreitung bei Frequenzen über 10 GHz sind für terrestrische Richtfunkverbindungen bereits recht gut bekannt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können bei der Planung von Satellitenverbindungen jedoch nicht direkt verwendet werden. Terrestrische Verbindungen verlaufen im unteren Drittel der Troposphäre, während die Kernzone eines Gewitters sich meist in der

1 Introduction

Aujourd'hui, les liaisons ascendantes entre les stations terriennes et les satellites de télécommunications géostationnaires se déroulent dans la bande des 6 GHz, tandis que la voie de retour emprunte la bande des 4 GHz. Vu le développement en flèche du trafic échangé par l'intermédiaire de satellites, les bandes de fréquences utilisées actuellement ne suffisent plus à satisfaire la demande. Or, les bandes voisines étant déjà occupées par des services terrestres, on a été contraint de prévoir pour les systèmes futurs par satellites des fréquences supérieures à 10 GHz. Par ailleurs, l'emploi d'une polarisation double doit permettre la réutilisation des bandes de fréquences entrant en considération.

Le futur satellite de télécommunications européen (ECS) opérera, de ce fait, dans la gamme des 11/14 GHz, les fréquences voisines de 12 GHz étant réservées à une éventuelle radiodiffusion par satellite. Le réseau Intelsat, auquel la Suisse est aujourd'hui reliée par la station terrienne de Loèche, devra également utiliser, le moment venu, les fréquences de 11/14 GHz.

Contrairement à ce qui se passe dans les bandes pour satellites de 4/6 GHz utilisées jusqu'ici, on observe aux fréquences supérieures à 10 GHz une influence variable de l'atmosphère sur la propagation des ondes électromagnétiques, dont l'importance ne peut plus être négligée. Les pluies d'orage et les chutes de neige mouillée notamment peuvent perturber sensiblement la liaison avec le satellite ou même l'interrompre. Cette perturbation provient du fait que l'énergie électromagnétique est à la fois absorbée et réfléchiée par les gouttes d'eau.

Pour les liaisons par faisceaux hertziens terrestres, on connaît déjà les relations qui existent entre les chutes de pluie et la propagation des ondes aux fréquences supérieures à 10 GHz. Toutefois, on ne peut utiliser directement ces résultats pour la planification des liaisons

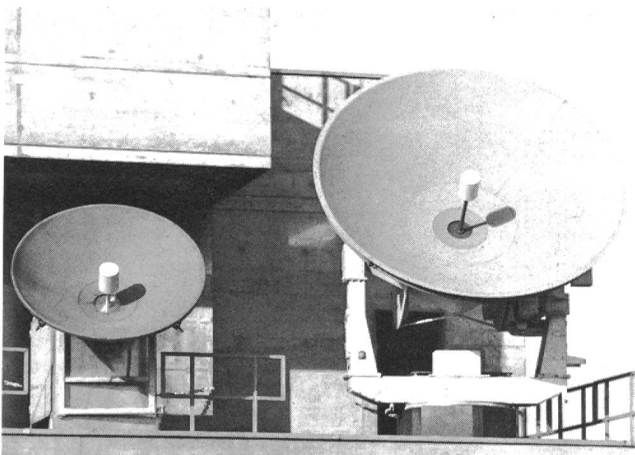


Fig. 1
Die 3-m-Empfangsantenne der OTS-Station sowie die 1,75-m-Radiometerantenne — L'antenne de réception de 3 m de la station OTS ainsi que l'antenne de 1,75 m du radiomètre

oberen Hälfte befindet. Satellitenverbindungen hingen durchqueren die ganze Troposphäre. Deshalb muss der Einfluss der meteorologischen Verhältnisse auf Satellitenverbindungen mit Frequenzen über 10 GHz besonders untersucht werden. Dies ist einer der Gründe, weshalb die europäische Weltraumorganisation ESA in Zusammenarbeit mit der Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications (CEPT) das europäische Testsatellitenprojekt mit dem OTS (Orbital Test Satellite) durchführt. Die Schweizerischen PTT-Betriebe beteiligen sich am OTS-Experiment mit einer kleinen Empfangsstation. Parallel dazu wird ein Radiometer betrieben. *Figur 1* zeigt die Empfangsantenne der OTS-Station sowie jene des Radiometers. OTS wurde am 11. Mai 1978 von Cape Kennedy (Florida) aus in den Weltraum geschossen. Er konnte am 19. Mai 1978 erstmals von den PTT empfangen werden.

2 Das europäische Fernmeldesatelliten-Experiment mit OTS

Zurzeit sind Studien für ein europäisches Fernmeldesatelliten-System (ECS) im Gange. Die CEPT ist für die Belange der Bodenstation (earth segment), die ESA für jene der Satelliten (space segment) verantwortlich. Das System arbeitet im Aufwärtspfad im 14-GHz-, im Abwärtspfad im 11-GHz-Band. Es soll in den achtziger Jahren in Betrieb genommen werden. Als Vorläufer des ECS dient der OTS folgenden Zwecken:

- Demonstration der Einsatztauglichkeit und der Zuverlässigkeit eines in Europa gebauten Fernmeldesatelliten
- Übertragungsversuche mit digitaler Modulation und Zeitmehrfachzugriff (TDMA)
- Ausbreitungsmessungen mit linear und zirkular polarisierten Trägern. Damit soll abgeklärt werden, welche Polarisationsart sich besser für die doppelte Ausnutzung der Frequenzbänder mit Dualpolarisation eignet

Im Gegensatz zu den bisherigen spinstabilisierten Intelsat-Satelliten ist der OTS dreiaachsenstabilisiert. Seine Lebensdauer soll 3...5 Jahre betragen. Dank der Dreiaachsenstabilisierung kann der OTS nicht nur ausschliesslich mit zirkular, sondern auch mit linear polari-

par satelliten. Les liaisons terrestres se déroulent dans le tiers inférieur de la troposphère, tandis que le centre d'un orage se situe généralement dans la moitié supérieure. Les liaisons par satellites, en revanche, traversent toute la troposphère. De ce fait, l'influence exercée par les conditions météorologiques sur les liaisons par satellites empruntant des fréquences supérieures à 10 GHz doit être étudiée spécialement. Cette étude est l'une des raisons pour lesquelles l'Agence Spatiale Européenne (ASE) réalise, en collaboration avec la Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications (CEPT), le projet du satellite expérimental européen OTS (Orbital Test Satellite). L'Entreprise des PTT suisses participe à l'expérience OTS avec une petite station réceptrice; parallèlement, elle utilise un radiomètre. La *figure 1* montre l'antenne réceptrice de la station OTS ainsi que celle du radiomètre. Le satellite OTS a été mis sur orbite le 11 mai 1978 depuis Cape Kennedy (Floride). Les signaux émis ont été reçus pour la première fois par les PTT le 19 mai 1978.

2 L'expérience du satellite de télécommunications européen OTS

A l'heure actuelle, des études portant sur un système de satellite de télécommunications européen (ECS) sont en cours. La CEPT est responsable de la station terrienne (segment terrien) et l'ESA du satellite (segment spatial). Le système fonctionne sur la bande de 14 GHz pour la liaison ascendante (terre vers satellite) et sur la bande de 11 GHz pour la liaison descendante (satellite vers terre). Le système doit devenir opérationnel au cours des années 1980. Destiné à précéder le satellite ECS, l'OTS servira aux buts suivants:

- démontrer qu'il est possible de construire en Europe un satellite de télécommunications fonctionnant bien et offrant la fiabilité exigée
- réaliser des essais de transmission en modulation numérique et à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT/TDMA)
- effectuer des mesures de propagation avec des porteuses polarisées circulairement et linéairement, ce qui doit permettre de déterminer quel mode de polarisation convient le mieux à la réutilisation des bandes de fréquences par discrimination de polarisation

A l'opposé de ce qui se fait aujourd'hui pour les satellites de l'Intelsat, stabilisés par rotation selon un seul axe (spin axial), l'OTS bénéficie d'une stabilisation selon trois axes. Sa durée de vie sera de 3 à 5 ans. Grâce à la stabilisation selon trois axes, l'OTS peut fonctionner non seulement en mode de polarisation circulaire, mais aussi en mode de polarisation linéaire. La *figure 2* montre que les équipements de télécommunications du satellite sont subdivisés en un module A et un module B.

Le *module A* est prévu pour l'exploitation des porteuses à polarisation linéaire. Les bandes de fréquences peuvent être réutilisées par discrimination de polarisation en ce sens que deux ondes électromagnétiques de même fréquence sont transmises dans des plans de polarisation orthogonaux. La subdivision en deux plans se fait à l'aide d'aiguillages de polarisation, appelés OMT (Ortho Mode Transducer). Le module A contient une version réduite des équipements de télécommunications

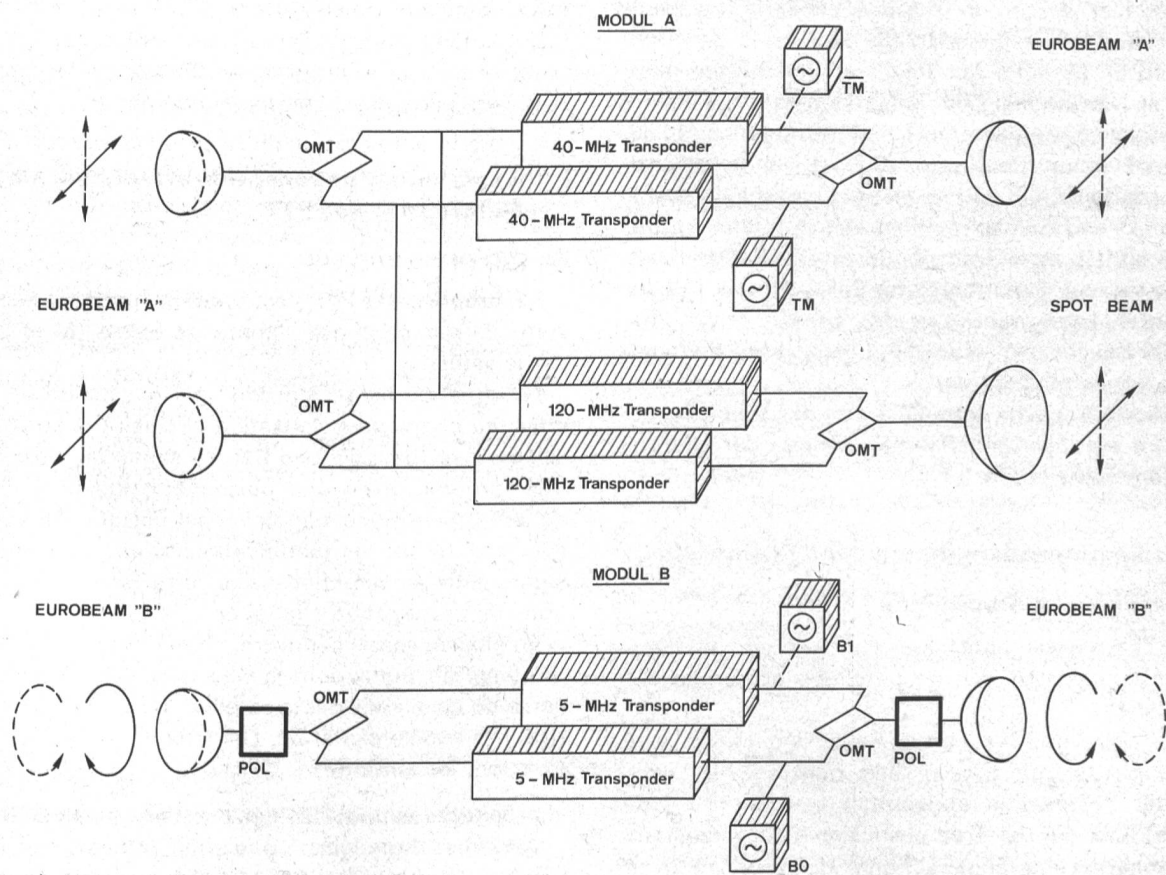


Fig. 2
 Die nachrichtentechnische Ausrüstung des OTS — L'équipement de télécommunications de l'OTS
 Modul — Module Transponder — Transpondeur

sierten Signalen arbeiten. Wie *Figur 2* zeigt, ist die nachrichtentechnische Ausrüstung des Satelliten in ein Modul A und ein Modul B unterteilt.

Das *Modul A* ist für den Betrieb mit linear polarisierten Trägern ausgelegt. Mit der sogenannten Polarisationsdiskrimination werden die Frequenzbänder doppelt ausgenutzt, indem zwei elektromagnetische Wellen mit gleicher Frequenz in aufeinander senkrecht stehenden Polarisierungsebenen übertragen werden. Die Auftrennung in die zwei Ebenen geschieht in Polarisationsweichen, die kurz OMT (Ortho Mode Transducer) genannt werden. Das Modul A enthält eine verkleinerte Version der nachrichtentechnischen Ausrüstung eines Betriebsatelliten, mit der Telefon- und Fernsehsignale empfangen, umgesetzt und wieder abgestrahlt werden können. Es besteht aus den zwei redundanten Empfangsantennen (Eurobeam «A»), je zwei Transpondern mit 40 MHz beziehungsweise 120 MHz Bandbreite sowie den Sendantennen Eurobeam «A» und «Spot Beam». Diese Ausrüstung erlaubt die Übertragung digital modulierter Signale mit 60 Mbit/s beziehungsweise 180 Mbit/s. Das Modul A enthält weiter die zwei identischen Telemetriesender TM und \overline{TM} , deren Signale auch für Ausbreitungsmessungen verwendet werden können. In diesem Zusammenhang spricht man von der TM-Bake. Es werden nicht gleichzeitig beide Telemetriesender eingeschaltet, sondern immer nur entweder TM oder \overline{TM} .

d'un satellite d'exploitation, qui permet de capter, de transposer et de réémettre des signaux téléphoniques et télévisuels. Le module possède deux antennes de réception redondantes Eurobeam «A», deux transpondeurs d'une largeur de bande de 40/120 MHz ainsi que des antennes d'émission Eurobeam «A» et «Spot beam» (pinceau fin). Ces équipements permettent la transmission de signaux en modulation numérique à 60 Mbit/s ou 180 Mbit/s. Le module A contient en plus deux émetteurs télémétriques identiques TM et \overline{TM} , dont les signaux peuvent être également utilisés pour des mesures de propagation. A cet égard, on parle de signaux de balise TM. Les deux émetteurs de télémétrie ne sont pas enclenchés simultanément mais séparément, en ce sens qu'on utilise soit l'émetteur TM, soit l'émetteur \overline{TM} .

Le *module B* sert aux expériences de propagation et aux essais avec des signaux numériques à bande étroite. Ici également, les bandes de fréquences sont réutilisées grâce au système de polarisation double. A l'opposé du module A, le module B fonctionne en polarisation circulaire. Pour convertir la polarisation linéaire en polarisation circulaire, on intercale entre l'aiguillage de polarisation et l'antenne un élément supplémentaire, appelé polariseur (POL). Les signaux sont rayonnés et reçus en polarisation circulaire sinistrogre ou dextrogre. Le module B contient deux transpondeurs d'une largeur de bande de 5 MHz ainsi que deux générateurs de signaux de balise. A l'aide des générateurs, il est possible de

Das *Modul B* ist für Ausbreitungsexperimente und für Versuche mit schmalbandigen digitalen Signalen ausgelegt. Auch hier werden die Frequenzbänder mit Dualpolarisation doppelt ausgenutzt. Im Gegensatz zum Modul A wird im Modul B mit zirkularer Polarisation gearbeitet. Zur Umwandlung der linearen in zirkulare Polarisation wird zwischen den OMT und die Antenne ein zusätzliches Element, Polarisator (POL) genannt, geschaltet. Die empfangenen und abgestrahlten Signale sind je zirkular links und zirkular rechts drehend polarisiert. Das Modul B enthält zwei Transponder mit je 5 MHz Bandbreite sowie zwei Generatoren für Bakensignale. Mit den Generatoren kann wahlweise das zirkular rechts drehende B0-Bakensignal oder die zirkular links drehende B1-Bake abgestrahlt werden.

Detaillierte Angaben über OTS und das Versuchsprogramm im europäischen Rahmen können der Literatur [1] entnommen werden.

3 Das Empfangsexperiment der PTT-Betriebe

31 Vorgesehene Messungen

Die PTT-Betriebe beteiligen sich nur an den Empfangsmessungen mit den im Satelliten erzeugten TM- und B-Baken.

Das im Satelliten erzeugte B-Bakensignal kann wahlweise entweder mit zirkular links oder zirkular rechts drehender Polarisation abgestrahlt werden (B0- oder B1-Bake). Das auf der Erde gleichsinnig zur abgestrahlten Polarisation empfangene Signal, das sogenannte copolare Signal, wird B-Signal genannt. Es liefert Informationen über die Dämpfungsänderungen im Abwärtsfad bei wechselnden Ausbreitungsverhältnissen.

Zusätzlich zum copolaren Signal kann auf der Erde ein Signal empfangen werden, das gegensinnig zur abgestrahlten Polarisation dreht. Dieses sogenannte depolarisierte Signal wird B*-Signal genannt. Die Gründe für die Depolarisation sind

- die nicht idealen Eigenschaften der Satelliten- und Bodenstationsantennen
- Inhomogenitäten in der Atmosphäre (zum Beispiel Niederschläge)

Bei der doppelten Ausnutzung der Frequenzbänder mit der Dualpolarisation wirkt das depolarisierte Signal als Gleichkanalstörung. Bei guten Ausbreitungsverhältnissen liegt das depolarisierte Signal etwa 30 dB unter dem copolaren. Der Pegelunterschied zwischen dem copolaren und dem depolarisierten Signal wird Depolarisationsabstand oder kurz XPD genannt. XPD entspricht der Abkürzung des englischen Begriffes «cross polar discrimination». Bei starken Gewittern wird das copolare Signal gedämpft, während der Pegel des depolarisierten Signals in den meisten Fällen steigt, so dass die XPD nur noch einige dB beträgt.

Die vorangehenden Ausführungen gelten sinngemäss für die Messungen mit der linear polarisierten TM-Bake. Das copolare Empfangssignal wird TM-Signal, das depolarisierte TM*-Signal genannt.

Die wichtigsten Eigenschaften der B- und TM-Signale sind in der *Tabelle I* zusammengestellt.

Es ist geplant, beide Bakensignale abwechselungsweise während je einem Jahr zu empfangen. Die Empfangspegel der copolaren und der depolarisierten Si-

gnale, au choix, le signal de balise B0 en polarisation circulaire dextrogyre ou le signal de balise B1 en polarisation circulaire sinistrogyre.

Des indications détaillées concernant le satellite expérimental OTS et le programme d'essais européen figurent dans l'article [1] cité en bibliographie.

3 Expériences de réception effectuées par l'Entreprise des PTT

31 Mesures prévues

L'Entreprise des PTT s'est bornée à participer aux mesures de réception des signaux de balise TM et B émis par le satellite.

Le signal de balise B produit par le satellite peut être émis, au choix, en polarisation circulaire dextrogyre ou sinistrogyre (balise B0 ou B1). Le signal reçu par la station terrienne avec une polarisation identique à celle émise, appelé signal copolaire, est désigné par signal B. Il renseigne sur les modifications d'affaiblissement du signal émis en direction de la terre lorsque les conditions de propagation changent.

En plus du signal copolaire, on peut capter à la station terrienne un signal dont le sens de polarisation est l'inverse de celui émis par le satellite. Ce signal, dit dépolarisé, est appelé signal B*. Les raisons de la dépolarisation sont les suivantes:

- propriétés non idéales des antennes du satellite et de la station terrienne
- inhomogénéité de l'atmosphère, due, par exemple, à des précipitations

Lors de la réutilisation des bandes de fréquences par l'emploi de deux modes de polarisation, le signal dépolarisé se manifeste sous forme d'une perturbation dans le même canal. Lorsque les conditions de propagation sont favorables, le niveau du signal dépolarisé est d'environ 30 dB inférieur à celui du signal copolaire. La différence entre ces deux niveaux est appelée discrimination de polarisation ou XPD (abréviation de l'expression anglaise «cross polar discrimination»). En cas d'orages violents, le signal copolaire est affaibli, tandis que le niveau du signal dépolarisé croît dans la plupart des cas, si bien que la valeur XPD n'est plus que de quelques dB.

Les explications qui précèdent s'appliquent, par analogie, aux mesures portant sur des signaux de balise TM à polarisation linéaire. Le signal copolaire, côté réception, est appelé signal TM et le signal dépolarisé TM*.

Les propriétés essentielles des signaux B et TM sont récapitulées dans le *tableau I*.

Tabelle I. Wichtigste Eigenschaften der von den PTT empfangenen Signale

Tableau I. Caractéristiques essentielles des signaux reçus par les PTT

Eigenschaft Caractéristique	B-Signal Signal B	TM-Signal Signal TM
Ungefährer Empfangspegel mit 3-m-Antenne bei klarem Himmel – Niveau de réception approximatif avec l'antenne de 3 m par ciel clair	-98 dBm	-111 dBm
Frequenz – Fréquence	11,786 GHz	11,575 GHz
Polarisation	Zirkular Circulaire	Linear Linéaire

gnale sowie die Depolarisationsabstände werden analog registriert. Anhand der Empfangsmessungen sollen folgende Unterlagen erstellt werden:

- statistische Verteilung der Dämpfungsänderung der copolaren Signale
- statistische Verteilung des Depolarisationsabstandes
- Korrelation zwischen der Dämpfungsänderung der copolaren Signale und dem Depolarisationsabstand
- Zusammenhang zwischen den Ausbreitungsbedingungen und den meteorologischen Verhältnissen
- Vergleich der Dämpfungsmessungen mit OTS und je-ner mit dem Radiometer

Die statistischen Verteilungen werden für monatliche und jährliche Intervalle, die Korrelation nur für ausge-suchte Ereignisse ermittelt.

Zur Untermauerung der statistischen Empfangspegel-vertelung werden Angaben über die Niederschlagstätig-keit benötigt. Zu diesem Zweck eignen sich am besten die Resultate der Regenmessungen, die von der Abtei-lung Forschung und Entwicklung mit dem bereits beste-henden Regenmessernetz durchgeführt werden. Es wer-den sogenannte «Tipping-Bucket»-Regenmesser [2] ein-gesetzt, mit denen die Regenintensität mit guter Auflö-sung gemessen werden kann.

32 Empfangsausrüstung

Die OTS-Bodenstation der PTT steht auf dem Dach des Hochhauses der Abteilung Forschung und Entwick-lung in Bern. Das prinzipielle Schaltbild der Empfangs-ausrüstung zeigt *Figur 3*. Die Hauptbestandteile der An-lage sind die Antenne und der Mikrowellen-Empfänger, die sich ausserhalb des Gebäudes befinden sowie der Phase-Locked-Loop-Detektor (PLL-Detektor).

Il est prévu de capter alternativement les deux si-gnaux de balise pendant un an. Les niveaux de réception du signal copolaire et du signal dépolarisé ainsi que la discrimination de polarisation seront enregistrés en mode analogique. Au vu des mesures de réception, les documents suivants pourront être établis:

- répartition statistique des variations d'affaiblissement des signaux copolaires
- répartition statistique de la discrimination de polarisation
- corrélation entre la variation d'affaiblissement des si-gnaux copolaires et la discrimination de polarisation
- relation entre les conditions de propagation et les conditions météorologiques
- comparaison entre les mesures d'affaiblissement d'OTS et les résultats obtenus avec le radiomètre

Les répartitions statistiques seront relevées pour des intervalles mensuels et annuels, tandis que la corrélation ne le sera que pour des événements choisis.

Il est nécessaire de posséder des indications sur les précipitations pour étayer la répartition statistique des niveaux de réception. A cet effet, on se servira de préfé-rence des résultats de relevés pluviométriques, dont la division des recherches et du développement dispose déjà. On a utilisé des pluviomètres du type «tipping bucket» [2], qui permettent d'enregistrer l'intensité des précipitations avec un bon degré de résolution.

32 Equipements de réception

La station réceptrice OTS des PTT est installée sur le toit de la maison tour de la Division des recherches et du développement à Berne. Le schéma de principe de l'é-quipement de réception ressort de la *figure 3*. L'installa-

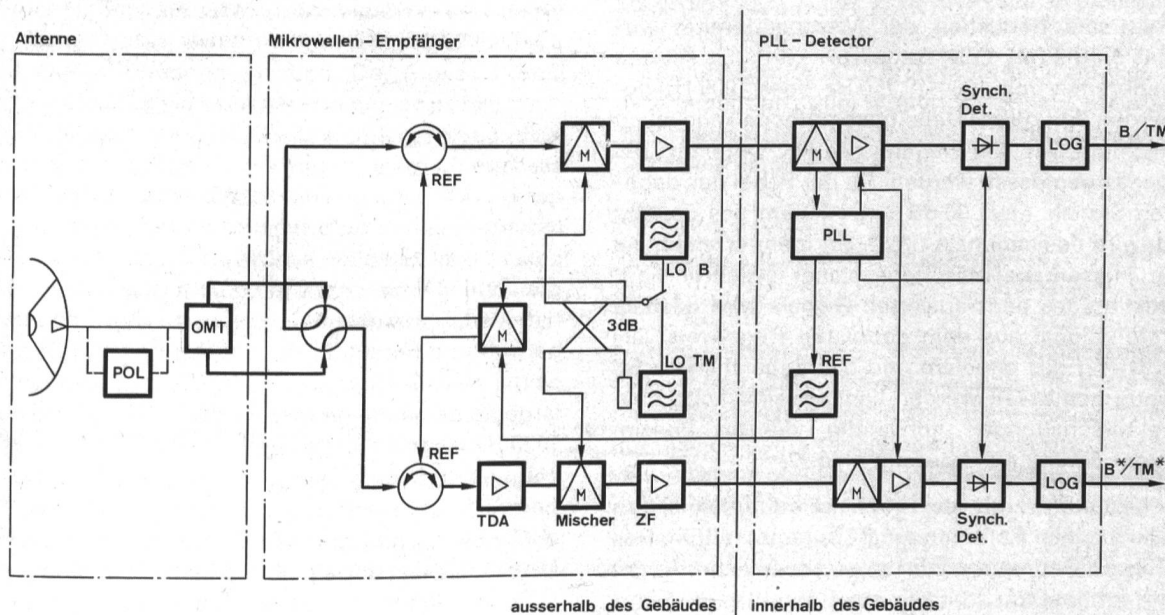


Fig. 3
Prinzipialschaltbild der OTS-Empfangsausrüstung — Schéma de principe de l'équipement de réception OTS

Mikrowellenempfänger — Récepteur à micro-ondes

PLL-Detektor — Détecteur PLL

Synchrondetektor — Détecteur synchrone

Mischer — Mélangeur

Ausserhalb des Gebäudes — A l'extérieur du bâtiment

Innerhalb des Gebäudes — A l'intérieur du bâtiment

Das Antennen-Subsystem besteht aus einem 3-m-Parabolreflektor, einer Strahlereinheit und einem Drehstand. Der Drehstand, der aus früheren Versuchen zur Verfügung steht, ermöglicht eine Antennenrichtgenauigkeit von $0,1^\circ$. Es wird ein Standardreflektor verwendet, der nach höchster Oberflächengenauigkeit ausgesucht wurde. Dadurch wird die durch den Reflektor bedingte Depolarisation des Signals klein gehalten. Die Strahlereinheit wurde in der Abteilung Forschung und Entwicklung besonders für die Messungen mit OTS entwickelt und hergestellt. Bei linearer Polarisierung besteht sie aus Polarisationsweiche (OMT), Rillenhorn und Subreflektor. Beim Empfang zirkular polarisierter Signale wird zusätzlich der Polarisator (POL) eingesetzt. Die Empfangsgeräte wurden von *L. M. Ericsson* gemäss unseren Forderungen hergestellt.

Der Mikrowellenempfänger wird direkt an der Antenne befestigt. Er befindet sich in einem wasserdichten, temperaturgeregelten Gehäuse und enthält die zwei Verstärkerketten für das copolare und das depolarisierte Signal. Im Empfangspfad für das depolarisierte Signal wird dem Mischer ein rauscharmer Tunnelioden-Verstärker (TDA) vorgeschaltet. Dadurch wird die Empfindlichkeit dieses Empfangspfades erhöht. Die in den Mixern auf eine Zwischenfrequenz von 70 MHz umgesetzten Empfangssignale werden in den ZF-Verstärkern in ihrem Pegel erhöht und darauf über Kabel dem PLL-Detektor zugeführt. Die Frequenz des Lokaloszillators kann entsprechend den Empfangsfrequenzen der B- und TM-Bake gewählt werden.

Da die zu messenden Signale sehr schwach sind und demzufolge das Nutzsignal zu Geräuschverhältnis (C/N) schlecht ist, muss ein aufwendiges Detektionsverfahren angewendet werden. Ein Phasenregelkreis (PLL) am Eingang des PLL-Detektors synchronisiert auf das copolare Signal. Durch synchrone Detektion wird eine Gleichspannung gewonnen, die über eine Logarithmierstufe auf den Ausgang gegeben wird. Der Phasenregelkreis ermöglicht eine Reduktion der Messbandbreite, wodurch das Verhältnis C/N verbessert wird. Es können Messbandbreiten von 100 Hz, 250 Hz oder 1000 Hz gewählt werden. Mit dieser Detektionsmethode kann, auch bei schlechtem C/N, am Eingang des PLL-Detektors ein Signal genau gemessen werden. Da der Pegel des depolarisierten Signals etwa 30 dB unter jenem des copolaren liegt, wird das minimale C/N nicht mehr erreicht, bei dem ein Phasenregelkreis noch sicher synchronisiert. Zur Detektion des depolarisierten Signals wird deshalb ein Referenzsignal aus dem copolaren Regelkreis verwendet. Damit das copolare und das depolarisierte Signal richtig gemessen werden können, sind noch Phasenkorrekturschaltungen notwendig, die im Prinzipschema der Figur 3 nicht gezeigt sind.

Der Phasenregelkreis der copolaren Empfangskette steuert noch einen Referenzsignal-Generator (REF). Das Signal dieses Generators wird in einem Mischer in der Frequenz umgesetzt, so dass ein Referenzsignal entsteht, das sowohl die gleiche Frequenz als auch die gleiche Phasenlage wie das Empfangssignal aufweist. Dieses Referenzsignal kann in wählbaren Intervallen über Zirkulatorschalter eingespeist werden. Dadurch kann die Stabilität des Empfängers periodisch überwacht werden, was erlaubt, gerätebedingte Pegelschwankungen von Ausbreitungseffekten zu trennen.

tion consiste pour l'essentiel en une antenne et un récepteur à micro-ondes établis à l'extérieur du bâtiment ainsi qu'en un récepteur à asservissement de phase PLL (Phase Locked Loop Detector).

Le sous-système d'antenne comprend un réflecteur parabolique de 3 m de diamètre, un radiateur (source primaire) et un support orientable. Ce dernier, qui a déjà été utilisé lors d'essais antérieurs, permet de pointer l'antenne avec une précision de $0,1^\circ$. On utilise un réflecteur normalisé, dont la précision d'usinage de surface a été soigneusement contrôlée. De ce fait, la dépolarisation du signal due à des imprécisions du réflecteur est maintenue dans des limites très faibles. Le radiateur a été spécialement développé et construit à la Division des recherches et du développement pour les mesures portant sur le satellite OTS. Dans le cas de la polarisation linéaire, il consiste en un aiguillage de polarisation (OMT), un cornet cannelé et un réflecteur secondaire. Pour recevoir des signaux polarisés circulairement, on emploie, de plus, un polariseur (POL). Les équipements de réception ont été construits par les établissements *L. M. Ericsson*, selon les spécifications de l'Entreprise des PTT.

Le récepteur à micro-ondes est directement fixé à l'antenne. Il se trouve dans un caisson étanche maintenu à une température constante par un thermostat et comprend les deux chaînes d'amplification pour le signal copolaire et le signal dépolarisé. Le circuit qui traite le signal dépolarisé consiste en un mélangeur précédé d'un amplificateur à diodes tunnel (TDA), caractérisé par un souffle très faible. Il en résulte une augmentation de la sensibilité pour ce circuit de réception. Les signaux reçus, convertis à une moyenne fréquence de 70 MHz dans les mélangeurs, sont amplifiés dans les amplificateurs MF et dirigés sur le détecteur PLL par le moyen de câbles. La fréquence de l'oscillateur local peut être choisie suivant la fréquence de réception des signaux de balise B et TM.

Vu que les signaux à mesurer sont très faibles et que le rapport signal utile/bruit (C/N) est mauvais, il est nécessaire de recourir à un système de détection sophistiqué. Un circuit à phase asservie (PLL), à l'entrée du détecteur PLL, assure la synchronisation avec le signal copolaire. Par détection synchrone, on prélève une tension continue, qui parvient à la sortie par un étage à caractéristique logarithmique. Le circuit de régulation de phase permet une réduction de la largeur de bande mesurée, ce qui améliore le rapport C/N. On peut sélectionner des largeurs de bande de mesure de 100 Hz, de 250 Hz ou de 1000 Hz. Grâce à cette méthode de détection, le signal est mesuré avec précision, même dans le cas d'un rapport C/N défavorable à l'entrée du détecteur PLL. Vu que le niveau du signal dépolarisé est d'environ 30 dB inférieur à celui du signal copolaire, le rapport minimal C/N pour lequel un circuit à phase asservie est encore synchronisé avec certitude n'est plus atteint. Pour détecter le signal dépolarisé, on recourt de ce fait à un signal de référence prélevé sur le circuit de régulation copolaire. Afin que le signal copolaire et le signal dépolarisé soient mesurés correctement, il est nécessaire d'utiliser des circuits de correction de phase, qui ne sont pas représentés sur le schéma de principe de la figure 3.

4 Radiometermessung

41 Radiometerprinzip

Mit einem Radiometer nutzt man das Gesetz der Thermodynamik, wonach jeder Körper, der Energie absorbiert, gleichzeitig auch Energie abgeben muss, damit das thermische Gleichgewicht erhalten bleibt. So geben Niederschläge, die elektromagnetische Wellen dämpfen, entsprechend ihrem Dämpfungsfaktor wiederum elektromagnetische Energie in Form von Rauschen ab. Richtet man eine Empfangsantenne gegen den Himmel, so kann, je nach Dämpfung der Atmosphäre, eine unterschiedliche Rauschleistung empfangen werden. Als Mass für die abgegebene Rauschleistung des Himmels wird die Rauschtemperatur verwendet. Zwischen der Himmelsrauschtemperatur T_H und dem Dämpfungsfaktor A der Atmosphäre besteht folgender Zusammenhang [3]:

$$T_H = T_m \left(1 - \frac{1}{A}\right) \quad (1)$$

wobei T_m der absoluten Temperatur des dämpfenden Mediums entspricht und meist mit 272 K angenommen wird.

Aus der Messung der Himmelsrauschtemperatur kann also geschlossen werden, um wieviel ein Signal von der Atmosphäre durch Absorption gedämpft würde. Die Dämpfung in Dezibel berechnet sich aus (1) wie folgt:

$$A = 10 \log_{10} \frac{T_m}{T_m - T_H} \quad (2)$$

Mit einem Radiometer erfasst man die Dämpfung durch Absorption, nicht aber jene durch Reflexion (Streuung). Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass nur Dämpfungen bis zu etwa 8 dB genau gemessen werden können. Für grössere Dämpfungen wird der Messfehler aus prinzipiellen Gründen zu hoch. Der grosse Vorteil des Radiometers liegt aber darin, dass man die Ausbreitungsbedingungen in der Atmosphäre mit gewissen Einschränkungen studieren kann, ohne dass man auf ein Satellitensignal angewiesen ist. Im weiteren ist es wichtig, die Veränderungen der Himmelsrauschtemperaturen zu kennen, weil das Verhältnis C/N einer Verbindung nicht nur durch eine Abschwächung des Signals, sondern auch durch den Anstieg der Himmelsrauschtemperatur verschlechtert wird.

42 Radiometer der PTT

Das Radiometer der PTT arbeitet nach der Schaltung von R. H. Dicke [4], deren Prinzip in der Figur 4 gezeigt ist. Der Mikrowellenempfänger wurde speziell für dieses Experiment gebaut, während der Radiometerteil bereits bei früheren Messungen eingesetzt wurde [5].

Am Eingang des Mikrowellenempfängers wird mit einem festen Takt zwischen der 1,7-m-Parabolantenne und der Referenzlast mit der Rauschtemperatur T_{Ref} umgeschaltet. Entsprechend wird im Radiometerteil das Rauschsignal mit der zugeschalteten Antenne auf einen ersten Integrator gegeben und jenes mit der zugeschal-

Le circuit à régulation de phase de la chaîne de réception copolaire commande encore un générateur de signal de référence (REF). Le signal de ce générateur est transposé dans un mélangeur, de manière qu'il en résulte un signal de référence ayant la même phase que le signal reçu. Ce signal de référence peut être injecté à intervalles choisis à volonté, par l'intermédiaire de circulateurs. Ainsi, la stabilité du récepteur est périodiquement soumise à un contrôle, ce qui permet de distinguer les variations de niveau dues aux équipements de celles qu'il faut imputer aux effets de propagation.

4 Mesures radiométriques

41 Principe du radiomètre

Le principe de fonctionnement du radiomètre est fondé sur une loi de la thermodynamique qui veut que chaque corps absorbant de l'énergie en cède en même temps, afin que l'équilibre thermique soit maintenu. Les précipitations, par exemple, lorsqu'elles affaiblissent les ondes électromagnétiques, restituent à nouveau de l'énergie électromagnétique sous forme de souffle, en fonction de leur facteur d'affaiblissement intrinsèque. Si l'on dirige une antenne réceptrice contre le ciel, il est possible, suivant l'affaiblissement dû à l'atmosphère, de recevoir une puissance de bruit différente. En tant que grandeur de référence pour mesurer la puissance de bruit provenant du ciel, on utilise la température de bruit. Le rapport entre la température de bruit du ciel T_H et le facteur d'affaiblissement A de l'atmosphère [3] est donné par la relation suivante:

$$T_H = T_m \left(1 - \frac{1}{A}\right) \quad (1)$$

où T_m est la température absolue du milieu d'affaiblissement, soit en général 272 K.

En mesurant la température de bruit du ciel, on peut déterminer dans quel rapport un signal a été affaibli par absorption dans l'atmosphère. L'affaiblissement en dB se calcule selon (1), à savoir:

$$A = 10 \log_{10} \frac{T_m}{T_m - T_H} \quad (2)$$

Avec un radiomètre, on obtient l'affaiblissement dû à l'absorption, mais non celui qui résulte de la réflexion (dispersion). Un autre inconvénient réside dans le fait que seules des atténuations jusqu'à environ 8 dB peuvent être mesurées avec précision. Pour des affaiblissements plus importants, l'erreur de mesure devient trop grande, en raison du principe utilisé. Cependant, le radiomètre présente un grand avantage, vu qu'il permet l'étude des conditions de propagation dans l'atmosphère, avec certaines restrictions, sans que l'on soit obligé de recourir à un signal de satellite. Par ailleurs, il importe de connaître les modifications de la température de bruit du ciel, vu que le rapport C/N d'une liaison n'est pas détérioré uniquement par un affaiblissement du signal, mais aussi par un accroissement de la température de bruit du ciel.

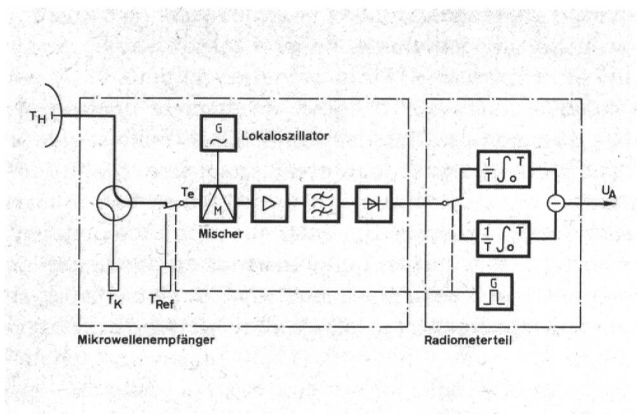


Fig. 4
Principalschaltbild des Radiometers der PTT — Schéma de principe du radiomètre des PTT

Lokaloszillator — Oscillateur local

Mischer — Mélangeur

Takt — Cadence

Mikrowellenempfänger — Récepteur à micro-ondes

Radiometerenteil — Partie radiomètre

teten Referenzlast auf einen zweiten. Das Ausgangssignal U_A wird gebildet, indem die Ergebnisse der Integratoren voneinander subtrahiert werden. Dadurch kann man das Eigenrauschen T_e des Empfängers eliminieren und man erhält eine Empfindlichkeit, die es ermöglicht, die Rauschtemperatur T_H des Himmels zu registrieren. Dies kann formelmässig wie folgt veranschaulicht werden:

$$U_A = k (T_{\text{Ref}} + T_e) - (T_H + T_e) = k (T_{\text{Ref}} - T_H) \quad (3)$$

Zur Eichung des Radiometers wird anstelle der Antenne eine mit flüssigem Stickstoff gekühlte Last mit bekannter Rauschtemperatur T_K angeschlossen.

Mit dem Radiometer wird die Himmelsrauschtemperatur bei einer Frequenz von 11,4 GHz seit dem 1. Januar 1978 registriert.

5 Erwartete Untersuchungsergebnisse

Öffentliche drahtlose Nachrichtensysteme werden so geplant, dass die Empfehlungen des CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications) über die Qualität, die während eines gewissen Prozentsatzes der Zeit erreicht werden soll, eingehalten werden. Da bei Verbindungen im 11/14-GHz-Frequenzband meteorologische Ereignisse in verschiedener Hinsicht einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität haben, ist die quantitative Erfassung dieser Beeinflussung von vorrangiger Bedeutung. Weil diese Ereignisse zufällig auftreten, können sie nur statistisch erfasst werden, wobei eine möglichst lange Messzeit wünschenswert ist.

Ein massgebendes Kriterium für die Qualität einer Verbindung ist das Träger/Rauschverhältnis (C/N) am Empfängereingang der Bodenstation. Dieses wird von meteorologischen Ereignissen in zweierlei Hinsicht verschlechtert: Einerseits wird der Träger (C) gedämpft, und andererseits steigt wegen der höheren Himmelsrauschtemperatur das Geräusch (N). Die Statistiken über die Dämpfung und die Himmelsrauschtemperatur werden benötigt, um die Sendeleistung des Satelliten, den Antennengewinn und die Systemrauschtemperatur

Le radiomètre des PTT fonctionne selon le principe de *R. H. Dicke* [4], dont les éléments ressortent de la *figure 4*. Le récepteur à micro-ondes a été spécialement construit en vue de cette expérience, tandis que la partie radiométrique a déjà été utilisée pour des mesures antérieures [5].

L'antenne parabolique de 1,7 m et la charge de référence à la température de bruit T_{Ref} sont commutées à une cadence fixe à l'entrée du récepteur à micro-ondes. Dans le radiomètre, le signal de bruit provenant de l'antenne est injecté au même rythme sur un premier intégrateur et le signal de bruit provenant de la charge de référence sur un deuxième. Le signal de sortie U_A est formé par soustraction des résultats des deux intégrateurs. Ainsi, le bruit intrinsèque T_e du récepteur est éliminé et l'on obtient une sensibilité qui permet d'enregistrer la température de bruit du ciel T_H . Ce processus peut être représenté par la formule suivante:

$$U_A = k (T_{\text{Ref}} + T_e) - (T_H + T_e) = k (T_{\text{Ref}} - T_H) \quad (3)$$

Pour étalonner le radiomètre, on remplace l'antenne par une charge fictive refroidie à l'azote liquide et présentant une température de bruit connue de T_K .

Ce radiomètre enregistre la température de bruit du ciel à une fréquence de 11,4 GHz depuis le 1^{er} janvier 1978.

5 Résultats escomptés pour les essais

Les systèmes de télécommunication radioélectriques publics sont planifiés de manière à satisfaire aux Avis du Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR). Ces Avis concernent les qualités à atteindre pour un certain pourcentage de temps. Vu que les phénomènes météorologiques exercent à divers égards une influence considérable sur les liaisons dans la bande des 11/14 GHz, il est très important de disposer de mesures précises sur l'ampleur de ces influences. Ces phénomènes étant aléatoires, seuls des relevés statistiques permettent d'en acquérir les caractéristiques, une longue période d'observation étant à ce point de vue souhaitable.

Un critère de qualité essentiel d'une liaison est le rapport porteuse/bruit (C/N) à l'entrée du récepteur de la station terrienne. Ce rapport est détérioré à deux points de vue par des phénomènes météorologiques: d'une part, la porteuse (C) est affaiblie, et, d'autre part, le bruit (N) s'accroît en raison de la température de bruit du ciel plus élevée. Il est nécessaire de recourir à des statistiques sur l'affaiblissement et la température de bruit du ciel pour qu'il soit possible de fixer la puissance d'émission du satellite, le gain de l'antenne et la température de bruit du système de la station terrienne, de manière que les Avis du CCIR soient respectés.

Dans le cas de la polarisation double, le signal dépolarisé qui apparaît en tant que perturbateur dans le même canal détériore aussi la qualité de la liaison.

der Bodenstation so festzulegen, dass die Empfehlungen des CCIR eingehalten werden können.

Bei Dualpolarisation verschlechtert das als Gleichkalarstörer wirkende depolarisierte Signal die Qualität der Verbindung zusätzlich.

Vom OTS-Experiment erwartet man im weiteren Aufschluss darüber, ob sich eine geforderte Übertragungsqualität leichter mit linearer oder mit zirkularer Polarisation verwirklichen lässt. Schliesslich will man abschätzen können, ob diese Qualität mit einer Bodenstation erreicht werden kann oder ob ein Betrieb mit zwei örtlich getrennten Stationen (site diversity) nötig ist.

Abgesehen von der Registrierung der Himmelsrauschtemperatur dient das parallel zur OTS-Station betriebene Radiometer dazu, auf indirekte Art die Dämpfung der Atmosphäre zu bestimmen. Durch den Vergleich mit den OTS-Messungen kann abgeklärt werden, wieweit sich Ergebnisse von Dämpfungsmessungen mit Radiometern bei der Systemplanung verwenden lassen.

Weil die OTS-Versuche nur zwei Jahre dauern, ist der Zufallsbereich der Messdaten gross. Da aber die Empfangsmessungen mit den Resultaten der gleichzeitig durchgeführten Regenmessungen belegt sind, können, unter Einbeziehung der meteorologischen Langzeitbeobachtungen, dennoch repräsentative Planungswerte abgeleitet werden. Sollte die Radiometermessung eine genügend genaue Dämpfungsstatistik ergeben, können zusätzlich die Ergebnisse mehrjähriger Radiometerregistrierungen [6] zugezogen werden.

6 Schlussbemerkungen

Am OTS-Experiment wollen sich insgesamt 39 Bodenstationen in 14 europäischen Ländern beteiligen. Da die Wetterverhältnisse, die sogenannten Mikroklimas, von Standort zu Standort verschieden sind, wird jede Empfangsstation andere Ausbreitungsbedingungen vorfinden. Es ist vorgesehen, dass die Teilnehmer am OTS-Experiment ihre Messresultate im Rahmen der CEPT zusammentragen, wodurch eine weitere Grundlage zur Planung von Satellitensystemen im 11/14-GHz-Frequenzband (ECS und Intelsat V) geschaffen werden kann.

Bibliographie

- [1] Hauck E. Das europäische Testsatellitenprogramm. Zürich, SEV-Bulletin 69 (1978) Nr. 6, S. 245...250.
- [2] Hofmann A. Registrierelektronik für Regenmesser. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 21.020A.
- [3] Hogg D.C. The Role of Rain in Satellite Communications. New York, Proceedings of the IEEE 63 (1975) No 9, pp. 1308...1331.
- [4] Dicke R.H. The Measurement of Thermal Radiation at Mi-

L'expérience OTS doit, de plus, révéler s'il est plus aisé d'atteindre la qualité de transmission exigée au moyen de la polarisation linéaire ou de la polarisation circulaire. Finalement, on veut déterminer si cette qualité peut être réalisée par l'emploi d'une seule station terrienne ou s'il est nécessaire d'en prévoir deux à des endroits différents (diversité de site).

Outre l'enregistrement de la température de bruit du ciel, le radiomètre exploité parallèlement avec la station OTS sert à relever indirectement l'affaiblissement dû à l'atmosphère. Par comparaison avec des mesures OTS, il est possible de tirer au clair dans quel rapport les résultats de mesures d'affaiblissement à l'aide d'un radiomètre peuvent être intégrés dans la planification de systèmes.

Vu que les mesures OTS ne dureront que deux ans, on ne peut totalement exclure l'influence du hasard dans les résultats. Cependant, étant donné que les mesures de réception peuvent être comparées aux résultats de relevés pluviométriques effectués en parallèle, on peut s'attendre à des valeurs de planification significatives, si l'on tient aussi compte d'observations météorologiques faites pendant une période prolongée. Si les mesures radiométriques fournissaient une statistique suffisamment précise sur l'affaiblissement, elles pourraient être complétées par les résultats portant sur des enregistrements radiométriques ayant duré plusieurs années [6].

6 Conclusions

On sait que 39 stations terriennes implantées dans 14 pays européens participeront à l'expérience OTS. Vu que les conditions météorologiques — on parle dans ce domaine de microclimats — sont différentes d'un emplacement à l'autre, chaque station de réception aura ses propres conditions de propagation. Il est prévu que les participants à l'expérience récapitulent les résultats de leurs mesures dans le cadre de la CEPT, ce qui fournira une base de travail supplémentaire pour la planification de systèmes par satellites dans la bande des fréquences de 11/14 GHz (ECS et Intelsat V).

crowave Frequencies. New York, Review of Scientific Instruments 17 (1946) No 7, pp. 268...275.

- [5] Debrunner W.E. und Liniger M. Einfluss der Struktur von Regengebieten auf die Ausbreitung von Mikrowellen. Bern, Techn. Mitt. PTT 53 (1975) Nr. 8, S. 292...304.
- [6] Zufferey Ch. Affaiblissement troposphérique aux fréquences supérieures à 10 GHz. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 21.042A.