

**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:** 66 (1988)

**Heft:** 7

**Artikel:** Mesure du temps de propagation dans les réseaux numériques = Messung von Laufzeitschwankungen in digitalen Übertragungsnetzen

**Autor:** Mellana, Jean-Philippe / Hilty, Kurt

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-876253>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

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

# Mesure du temps de propagation dans les réseaux numériques

## Messung von Laufzeitschwankungen in digitalen Übertragungsnetzen

Jean-Philippe MELLANA und Kurt HILTY, Berne

*Zusammenfassung. Die Autoren beschreiben eine Methode zur Bestimmung von Laufzeitschwankungen in digitalen, mit normalem Verkehr belegten Übertragungssystemen. Dabei dient das Fernsehnetz als gemeinsame Zeitbasis, so dass weder PCM-Signale zurückgeschlauft noch besondere Übertragungswege geschaltet werden müssen. Der Datenstrom auf dem Übertragungskanal wird vollständig passiv beobachtet und somit nicht beeinträchtigt. An einer optischen 140-Mbit/s-Übertragungsstrecke von etwa 50 km Länge wurden über längere Zeit die Laufzeitschwankungen gemessen.*

*Résumé. Les auteurs décrivent une méthode qui permet de mesurer les fluctuations du temps de propagation dans un réseau de transmission numérique en service, tout en garantissant un écoulement normal du trafic. Le système de mesure utilise le réseau de télévision comme référence de temps. Il n'est pas nécessaire d'établir une boucle ou un chemin particulier pour réaliser la mesure et l'observation du trafic sur la ligne de transmission s'opère d'une façon purement passive. Des mesures ont été effectuées entre deux points distants d'environ 50 km dans un réseau de transmission à fibre optique de 140 Mbit/s.*

### Misura del tempo di propagazione nelle reti numeriche

*Riassunto. Gli autori descrivono un metodo che permette di misurare le variazioni del tempo di propagazione nelle reti di trasmissione numeriche mentre il traffico si svolge normalmente. Dato che la rete televisiva serve da base temporale comune, non è necessario stabilire circuiti o vie di trasmissione speciali. Il flusso di dati sul canale di trasmissione è controllato in modo completamente passivo e non viene disturbato. Le misure del tempo di propagazione sono svolte su una tratta di trasmissione in fibra ottica a 140 Mbit/s, lunga circa 50 km.*

### 1 Introduction

L'importance des temps de propagation et de leur variation pour l'établissement et la synchronisation des réseaux numériques a fait l'objet de recherches et de développements quelquefois controversés au cours de ces dernières années. La conception du réseau numérique en Suisse au niveau des générateurs pilotes [1] est fondée sur un système d'oscillateurs principaux et secondaires asservis. L'asservissement est assuré par le truchement de lignes PCM à 2 Mbit/s [2]. Afin de garantir un fonctionnement optimal des boucles d'asservissement, il est nécessaire de connaître non seulement les caractéristiques des oscillateurs asservis, mais également les fluctuations du temps de propagation dans les lignes. Si la mesure de ces fluctuations est relativement facile à réaliser dans un système de transmission en circuit fermé (boucle), il n'en est pas de même lorsque ce système est en service et assure l'acheminement de l'information entre deux points fixes. Il devient alors nécessaire de posséder, d'une part, une référence commune de mesure à chaque extrémité et, d'autre part, de garantir l'écoulement de l'information sans provoquer de perturbations.

La méthode bien connue de comparaison d'horloges-étalons par l'intermédiaire de la télévision [3, 4] et l'expérience acquise depuis quelques années dans ce domaine [5] confirment l'utilité de l'emploi du réseau de télévision en tant que support pour de telles mesures.

### 2 Principe d'utilisation du signal de télévision

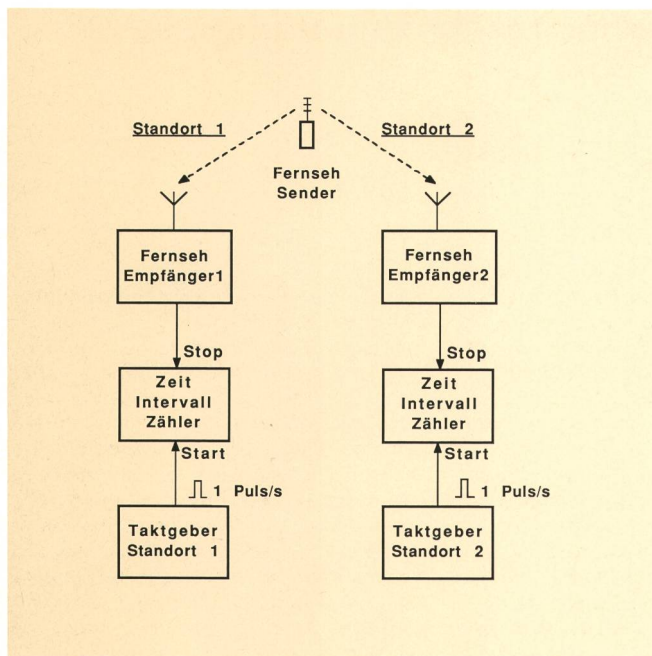
Dans un signal de télévision, les impulsions de synchronisation sont générées au studio qui produit le programme. Le générateur se présente le plus souvent sous la forme d'un oscillateur à quartz ou à rubidium. Les impulsions sont ensuite additionnées au contenu image (vidéo) et le signal complet est distribué sur les diffé-

### 1 Einleitung

Die Bedeutung der Synchronisation in integrierten digitalen Übertragungsnetzen führte in der letzten Zeit zu etlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und regte oft heftige Diskussionen an. Im integrierten Digitalnetz der Schweiz beruht die Taktversorgung auf einem hierarchischen Prinzip [1], wobei die Sekundäroszillatoren über 2-Mbit/s-PCM-Leitungen auf die Primäroszillatoren geregelt werden [2]. Für die Optimierung dieser Regelkreise müssen sowohl die Charakteristiken der Oszillatoren als auch die zeitlichen Eigenschaften der Übertragungsleitungen bekannt sein. Während Laufzeitschwankungen in einem geschlossenen System (Signal an die Sendestelle zurückgeschlauft) verhältnismässig einfach bestimmt werden können, sind Langzeitmessungen an Übertragungsleitungen, die mit Datenverkehr belegt sind, wesentlich schwieriger. Dazu wird einerseits an beiden Endpunkten eine gemeinsame Zeitreferenz benötigt, andererseits darf der Betrieb nicht gestört werden. Die jahrelangen positiven Erfahrungen mit der bekannten Methode, Frequenz- und Zeitnormale mittels der Fernsehsignale miteinander zu vergleichen [3, 4, 5], ermutigten dazu, das Fernsehsystem als gemeinsame Zeitbasis einzusetzen.

### 2 Anwendung der Fernsehsignale zum Zeitvergleich

Die Synchronisationsimpulse eines Fernsehsignales werden in dem Studio erzeugt, welches das Programm gestaltet, und werden von Quarz- oder Rubidiumoszillatoren abgeleitet. Diese Impulse werden zum Bildinhalt addiert, und das vollständige Signal wird über Richtfunkstrecken zu den verschiedenen Sendern übertragen. Die Synchronisationsimpulse lassen sich mit jedem Empfänger verhältnismässig einfach aus dem Fernsehsignal trennen, um eine relative Zeitinformation zu erhalten. Verschiedene Messungen [3, 4, 5, 6] haben



**Fig. 1**  
**Vergleich von Frequenznormalen mit Hilfe der Fernsehsignale – Comparaison d'étalons de fréquence par le truchement de la télévision**  
 Standort – Emplacement  
 Fernsehsender – Emetteur de télévision  
 Fernsehempfänger – Récepteur de télévision  
 Zeitintervallzähler – Compteur à intervalle de temps  
 1 Puls/s – 1 Impulsion/seconde  
 Taktgeber – Horloge

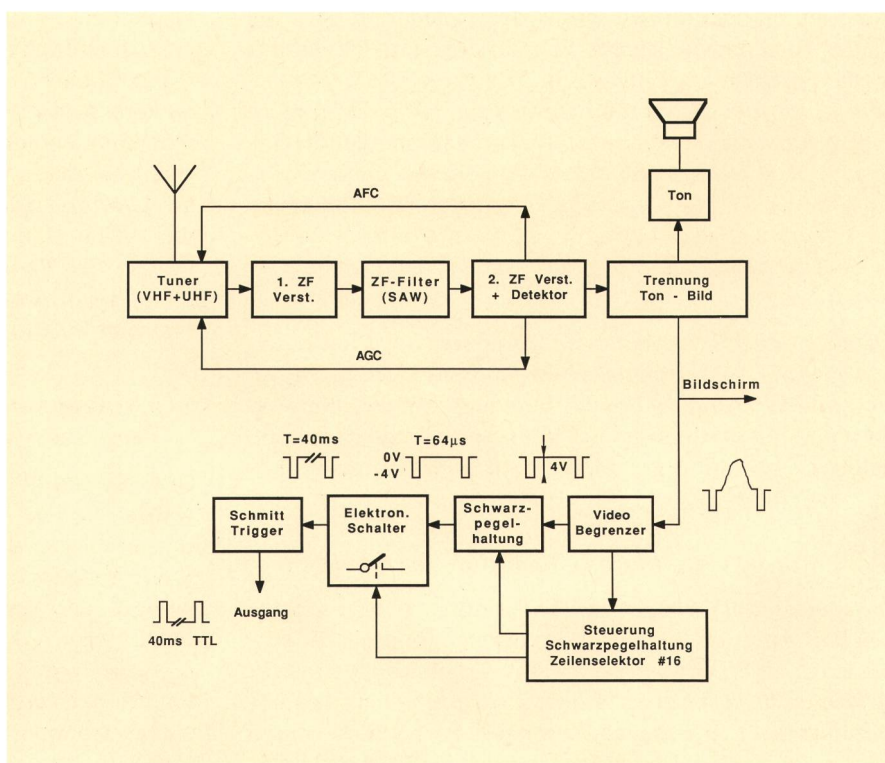
rents émetteurs par l'intermédiaire de relais à faisceaux hertziens. Il est relativement aisé d'extraire, sur un récepteur quelconque, une impulsion de synchronisation d'image par exemple et de posséder ainsi une information relative de temps.

gezeigt, dass die Laufzeitschwankungen in der Fernsehverteilung (VHF, UHF, SHF) verhältnismässig klein sind. Diese Tatsache wird durch die täglich mit Hilfe des Fernsehens durchgeführten Uhrenvergleiche (Caesiumfrequenznormale) zwischen dem Technischen Zentrum der Generaldirektion PTT (Forschung und Entwicklung) und anderen Laboratorien in der Schweiz und in Frankreich bestätigt (Fig. 1). Die maximalen Schwankungen der täglichen Messungen liegen in der Grösse von 20 ns. Um diese Genauigkeit voll ausnützen zu können, wurden zwei Fernsehempfänger von hoher Qualität besonders für die Messung von Laufzeitschwankungen entwickelt.

## 21 Aufbau der Fernsehempfänger (Fig. 2) [7]

Der Hochfrequenz- und Zwischenfrequenzteil sowie die Detektion mit der automatischen Frequenzabstimmung und Amplitudenregelung sind mit kommerziellen Modulen aufgebaut. Ein Oberflächenwellenfilter (SAW) erhöht die Stabilität gegenüber einem LC-Filter und erübrigt ein Nachstimmen. Nach der Trennung von Ton und Bild wird der Videoinhalt teilweise eliminiert, das Signal verstärkt und der schwebende Schwarzpegel auf einen konstanten Wert fixiert («Clamp»). Ein elektronischer Schalter, der von einer Zeilenselektionlogik gesteuert wird, leitet den ausgewählten Synchronisationspuls an einen Schmitt-Trigger. Die Wahl des Synchronisationsimpulses der 16. Zeile ist willkürlich, bietet aber den Vorteil, dass diese Zeile keine Bildinformation enthält. In der Folge steht am Ausgang alle 40 ms (Bildfrequenz des vollständigen Bildes = 25 Hz) ein TTL-Puls zur Verfügung. Besondere Beachtung muss dem Abgleich beider Empfänger in Bezug auf ZF, AGC, Demodulation und Videoverstärker geschenkt werden.

**Fig. 2**  
**Blockschaltbild des Fernsehempfängers – Schéma bloc du récepteur de télévision**  
 1. ZF-Verstärker – 1<sup>er</sup> amplificateur MF  
 ZF-Filter – Filtre MF  
 2. ZLF-Verstärker – 2<sup>e</sup> amplificateur MF  
 Ton – Son  
 Trennung Ton-Bild – Séparation son-image  
 Bildschirm – Moniteur vidéo  
 Elektronischer Schalter – Commutateur électronique  
 Schwarzpegelhaltung – Circuit de clamp  
 Videobegrenzer – Limiteur vidéo  
 Ausgang – Sortie  
 Steuerung – Logique de contrôle  
 Zeilenselektor – Sélecteur de ligne  
 AFC Automatische Frequenzabstimmung – Régulation automatique de la fréquence  
 AGC Automatische Verstärkungsregelung – Régulation automatique de l'amplification



Les fluctuations résiduelles du temps de propagation dans une liaison hertzienne (VHF, UHF, SHF) sont faibles [3, 4, 5, 6]. Ce fait est confirmé par les comparaisons quotidiennes de deux étalons au césium effectuées au centre technique de la Direction générale des PTT avec divers laboratoires en Suisse et en France, par le truchement de la télévision (fig. 1). La dispersion journalière est de l'ordre de 20 ns.

Il a été cependant nécessaire de développer deux récepteurs de TV plus performants et destinés uniquement à la mesure des temps de propagation et de leurs fluctuations.

## 21 Conception du récepteur

(fig. 2) [7]

La partie haute et moyenne fréquence (HF, MF) et la détection avec ses boucles de contrôle automatique de fréquence et de gain (AFC, AGC) est traditionnelle. Elle est réalisée avec des modules commerciaux de qualité. L'adjonction d'un filtre à onde de surface en lieu et place de filtres LC diminue le risque de dérèglement. Après séparation son-image, le contenu vidéo est partiellement éliminé, le signal est amplifié et le niveau du noir fixé «clamp» à une valeur constante. Un commutateur électronique piloté par une logique de sélection achemine l'impulsion de synchronisation désirée sur une bascule de Schmitt. Le choix s'est porté arbitrairement sur l'impulsion de la ligne No 16 qui n'est pas modulée par l'image. On obtient donc à la sortie une impulsion TTL toutes les 40 ms (fréquence image complète = 25 Hz). L'accent a été mis particulièrement sur la symétrie des deux récepteurs notamment en ce qui concerne les étages MF, AGC, le démodulateur et l'amplificateur vidéo.

## 22 Performance des récepteurs

Un test préalable concernant la stabilité de l'impulsion de ligne TV d'un récepteur par rapport à l'autre est réalisé en les connectant sur une même source (émetteur TV, fig. 3). Cette mesure est effectuée sur un compteur start-stop avec temps d'intégration de 100 s. Sur une période de mesure d'environ 14 h (durée d'une émission quotidienne), la dispersion observée est inférieure ou égale à 3 ns. Cette dispersion augmente à une valeur inférieure ou égale à 8 ns entre les mesures quotidiennes; cette différence provient des réglages de niveau effectués au studio avant le début des émissions, qui se repercutent sur l'asymétrie inévitable des récepteurs. Cette dernière valeur dépend de la qualité de la modulation à l'émetteur (émetteur ancien ou moderne). Quant au comportement des récepteurs en température, les variations enregistrées sont de l'ordre de 0,4 ns/°C sur une plage de +10°C à +30°C.

## 23 Stabilité du temps de propagation dans une liaison hertzienne

Il a été procédé à une mesure en boucle, formée par deux émetteurs TV pilotés par le même studio et séparés par 12 relais à faisceaux dirigés et 670 km de voie

## 22 Stabilité der Empfänger

Zur Messung der Stabilität der Zeilensynchronisation werden beide Empfänger auf die gleiche Quelle (gleicher Fernsehsender) abgestimmt und gemäss *Figur 3* zusammenschaltet. Der Zeitintervallzähler (Frequenzzähler im Start-Stop-Betrieb) misst die Zeitdifferenzen zwischen den Synchronisationsimpulsen beider Empfänger mit einer Integrationszeit von 100 s. Über eine Messperiode von etwa 14 Stunden (tägliche Sendezeit) werden Schwankungen beobachtet, die kleiner oder gleich 3 ns sind. Die mittleren Werte von Tag zu Tag zeigen etwas grössere Variationen, bis zu 8 ns. Dieser Unterschied ist auf die tägliche Regelung der Pegel in den Studios vor Sendebeginn und der unvermeidlichen Asymmetrie beider Empfänger zurückzuführen. Zudem spielt die Qualität der Sendermodulation eine wesentliche Rolle (ältere oder moderne Sender). Im Arbeitsbereich +10 °C ... +30 °C weisen die Empfänger eine Temperaturabhängigkeit von ungefähr 0,4 ns/°C auf.

## 23 Stabilität der Laufzeiten im Fernsehverteilnetz

Mit zwei Fernsehsendern, die das gleiche Programm ausstrahlen, jedoch über verschiedene Wege gespeist werden, wurden die Laufzeitschwankungen im Fernsehverteilnetz ermittelt. Dabei bilden die Fernsehzubringer eine Schlaufe über 12 Richtfunkverbindungen mit einer Gesamtlänge von 670 km (*Fig. 4*). Die UHF-Kanäle 40 und 50 des Fernsehsenders Bantiger strahlen das Tessiner-Programm TSI ab und werden vom Studio Lugano

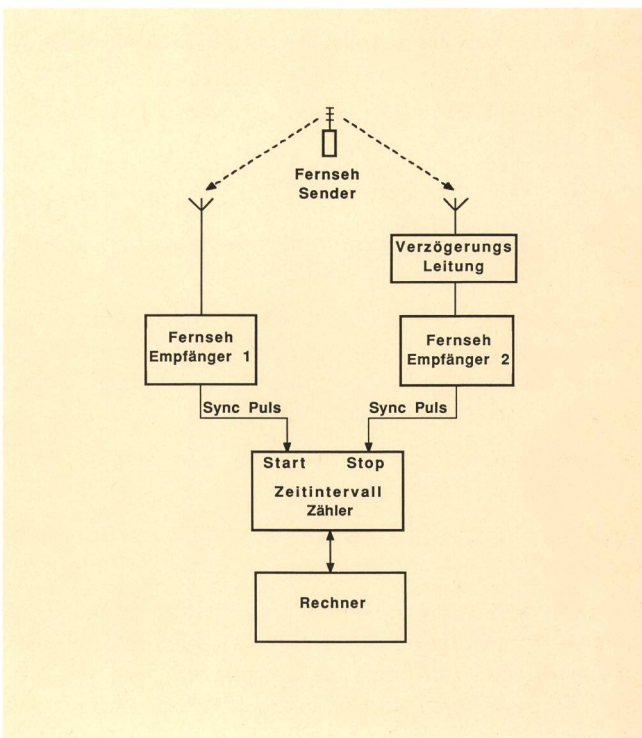


Fig. 3  
Stabilitätsmessung der Fernsehempfänger – Mesure de stabilité des récepteurs de télévision

Fernsehsender – Émetteur de télévision

Verzögerungsleitung – Ligne de retard

Fernsehempfänger – Récepteur de télévision

Synchronisationspuls – Impulsion de synchronisation

Zeitintervallzähler – Compteur à intervalle de temps

Rechner – Ordinateur

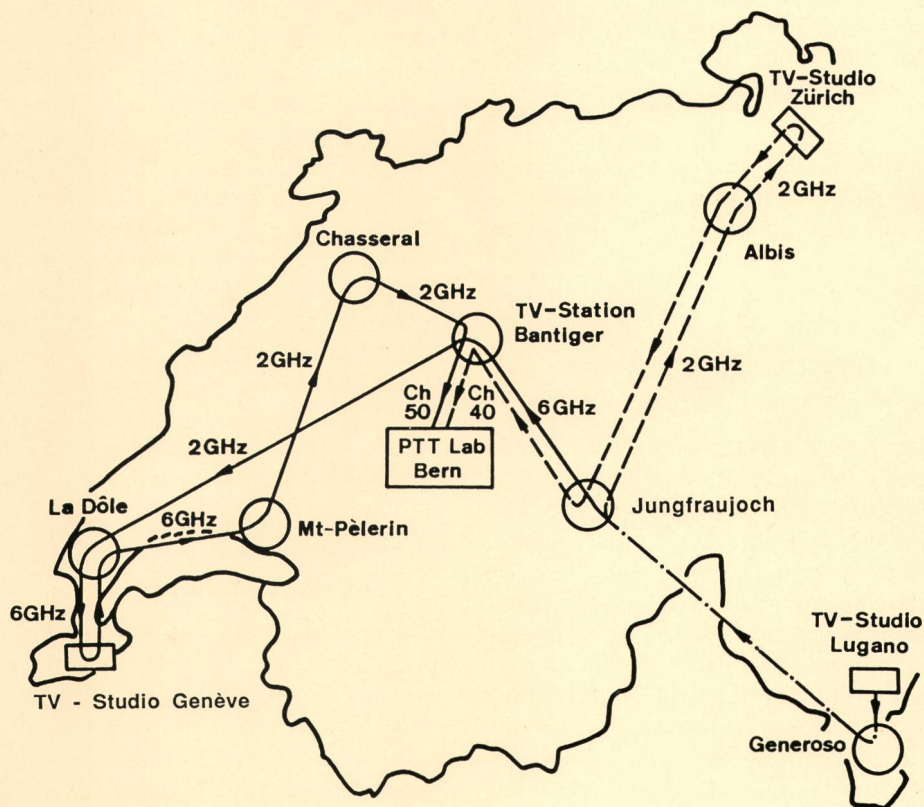


Fig. 4 Mikrowellenpfad bei der Messung der Laufzeitschwankungen in der Fernsehübertragung – Boucle hertzienne de mesure des fluctuations de transmission TV

○ Richtstrahlstation – Relais à faisceaux hertziens

Ch TV-Kanal – Canal de TV

hertzienne, dont la configuration est indiquée à la *figure 4*.

Les canaux UHF 40 et 50 de l'émetteur du Bantiger diffusent le programme TSI de Lugano par deux chemins différents. La séparation s'effectue à la station du Jungfrauoch et les parcours sont les suivants:

*Canal 40:* Jungfrauoch – Albis – Studio de Zurich – Albis – Jungfrauoch – Bantiger.

*Canal 50:* Jungfrauoch – Bantiger – La Dôle – Studio de Genève – La Dôle – Mt-Pèlerin – Chasseral – Bantiger.

Sur une période de mesure d'environ trois mois et les sauts de commutation mis à part, la variation maximale sur l'écart constaté entre les deux récepteurs est inférieure ou égale à 20 ns. Cette valeur relativement faible montre que la réception du signal TV peut être utilisée comme référence pour la mesure de transmission de signaux numériques.

### 3 Principe de la mesure

Le principe de la mesure des fluctuations de temps de propagation dans une transmission numérique faisant

über verschiedene Pfade, die sich auf dem Jungfrauoch trennen, gespeist.

*Kanal 40:* Jungfrauoch – Albis – Studio Zürich – Albis – Jungfrauoch – Bantiger.

*Kanal 50:* Jungfrauoch – Bantiger – La Dôle – Studio Genf – La Dôle – Mt-Pèlerin – Chasseral – Bantiger.

Abgesehen von vereinzelt Sprüngen infolge Umschaltungen, wurden während der Beobachtungszeit von drei Monaten keine Laufzeitänderungen grösser als 20 ns festgestellt. Dieser geringe Wert zeigt, dass die Fernsehsignale als gemeinsame Zeitreferenz bei der Messung von Laufzeitschwankungen in digitalen Übertragungsnetzen verwendet werden können.

### 3 Messprinzip

*Figur 5* zeigt das Prinzipschema, um Laufzeitschwankungen in digitalen Übertragungsnetzen zu bestimmen, wobei das Fernsehsignal als gemeinsame Zeitreferenz dient.

appel au signal TV comme référence est schématisé à la figure 5.

A la station 1, l'impulsion de trame de la transmission numérique (hiérarchie 2,048 Mbit/s) est extraite et divisée afin d'obtenir une impulsion avec période de répétition de 40 ms. Cette dernière représente l'impulsion de rythme «Takt» de l'équipement PCM à la station 1. Supposons qu'une impulsion TV soit transmise au temps  $T_s$  de l'émetteur TV et que le retard de propagation à la station 1 soit  $\tau_1$ . L'impulsion TV arrive au récepteur 1 au temps:

$$T_{E1} = T_s + \tau_1$$

( $\tau_1$  = retard de propagation et du récepteur 1)

Si l'on mesure l'intervalle de temps  $T_{d1}$  entre l'impulsion TV et celle de rythme  $T_{takt}$ :

$$T_{d1} = T_s + \tau_1 - T_{takt}$$

A la station 2, l'impulsion de rythme du signal PCM reçu (2,048 Mbit/s) et retardée de  $\tau_{str}$  est extraite de la même façon et on a les équations suivantes:

$$T_{E2} = T_s + \tau_2$$

( $\tau_2$  = retard de propagation et du récepteur 2)

et l'intervalle au compteur

$$T_{d2} = T_s + \tau_2 - T_{takt} - \tau_{str}$$

Si l'on effectue les mesures d'intervalle au même instant (même impulsion TV) la différence entre les deux lectures est de

$$\Delta T_{d1-2} = (\tau_1 - \tau_2) + \tau_{str}$$

In Station 1 wird aus dem digitalen Datenstrom (2,048-Mbit/s-Hierarchie) die Rahmensynchronisation ausgekoppelt und mit einem Teiler auf eine Pulsrepetition von 40 ms gewandelt. Diese Impulse entsprechen dem Takt der PCM-Ausrüstung in der Station 1. Wird angenommen, dass zur Zeit  $T_s$  ein Synchronisationsimpuls von der Fernsehstation ausgesendet wird und dass die Laufzeit zur Messstation 1  $\tau_1$  beträgt, so trifft dieser Puls zur folgenden Zeit am Empfängerausgang ein:

$$T_{E1} = T_s + \tau_1$$

( $\tau_1$  = Verzögerung durch Ausbreitung und Empfänger 1)

Der Zähler misst zwischen dem Fernsehsynchronisationsimpuls und dem PCM-Takt  $T_{takt}$  die Zeitdifferenz  $T_{d1}$ :

$$T_{d1} = T_s + \tau_1 - T_{takt}$$

In der Station 2 wird aus dem ankommenden PCM-Datenstrom (2,048 Mbit/s), der um  $\tau_{str}$  verzögert ist, die Rahmeninformation in gleicher Weise ausgekoppelt, und es folgern entsprechende Gleichungen:

$$T_{E2} = T_s + \tau_2$$

( $\tau_2$  = Verzögerung durch Ausbreitung und Empfänger 2)

und für das Zeitintervall am Zähler 2:

$$T_{d2} = T_s + \tau_2 - T_{takt} - \tau_{str}$$

Werden in beiden Stationen die Messungen zum genau gleichen Zeitpunkt durchgeführt (gleicher Fernsehsynchronisationsimpuls), so ergibt sich aus der Differenz beider Zeitintervallmessungen:

$$\Delta T_{d1-2} = (\tau_1 - \tau_2) + \tau_{str}$$

Diese Differenz ist proportional zur Laufzeit des Übertragungsweges  $\tau_{str}$  und seiner Schwankungen. Sind die Laufzeitvariationen in der Fernsehverteilung und in den Empfängern klein, wie in Abschnitt 22 beschrieben, so lässt sich annähern schreiben:

$$\Delta T_{d1-2} = \text{const} + \tau_{str}$$

Die Betrachtungen in Abschnitt 23 zeigen, dass auch zwei verschiedene Fernsehsender benützt werden können, sofern sie das gleiche Programm ausstrahlen. Damit können auch längere Übertragungsstrecken untersucht werden, wobei allfällige Laufzeitsprünge, durch gelegentliche Umschaltungen bedingt, kompensiert werden müssen.

### 31 Verwirklichung des Messplatzes

Das Blockschaltbild des gesamten Messaufbaus zur Bestimmung von Laufzeitschwankungen auf digitalen Übertragungssystemen ist in Figur 6 dargestellt. Um die PCM-Übertragung nicht zu beeinflussen, werden in beiden Messstationen zusätzliche Demultiplexer eingesetzt, die hochohmig parallel auf die PCM-Leitung geschaltet werden. Diese abgeänderten Demultiplexer koppeln die Rahmensynchronisation des PCM (500 Hz) aus und wandeln sie in 25-Hz-TTL-Signale, die den Fernsehsynchronisationssignalen (Periode 40 ms) entsprechen. Ein zentraler Rechner initialisiert die Demultiplexer über «Interface-Bus»-Extender, Modems und Telefonleitungen und steuert die Zeitintervallzähler so, dass sie in beiden Stationen gleichzeitig messen. Um die Messauflösung zu erhöhen, mitteln die Zeitintervallzäh-

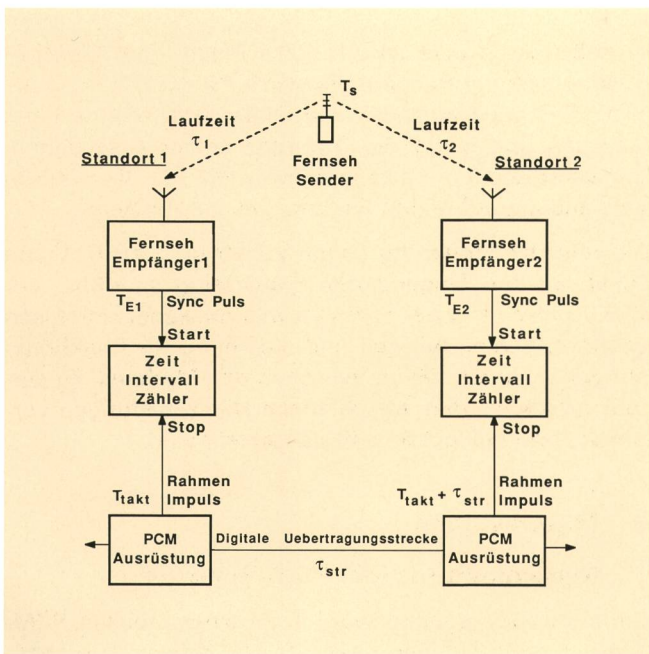


Fig. 5

Prinzip der Messung von Laufzeitschwankungen in digitalen Übertragungssystemen – Principe de mesure des fluctuations du temps de propagation dans une transmission numérique

Laufzeit – Temps de propagation

Standort – Emplacement

Fernsehempfänger – Récepteur de télévision

Synchronisationspuls – Impulsion de synchronisation

Zeitintervallzähler – Compteur à intervalle de temps

Rahmenimpuls – Impulsion de trame

PCM-Ausrüstung – Equipement MIC

Digitale Übertragungsstrecke – Voie de transmission numérique

La différence est proportionnelle au retard de transmission  $\tau_{str}$  et de ses variations. Si les variations de propagation TV restent faibles et les récepteurs stables, comme décrit au point 22, on a :

$$\Delta T_{d1-2} = \text{const} + \tau_{str}$$

Il est bien clair que deux émetteurs différents peuvent être utilisés, en tant qu'ils diffusent le même programme. La ligne à mesurer peut être de ce fait beaucoup plus longue, avec cependant un risque de sauts de phase provenant d'éventuelles commutations.

### 31 Réalisation de la place de mesure

La place de mesure est schématisée à la figure 6.

Pour ne pas perturber la transmission PCM entre les stations 1 et 2, deux démultiplexeurs supplémentaires spéciaux ont été placés sur chaque station aux extrémités de la ligne à mesurer et en parallèle sur celle-ci. Ces démultiplexeurs sont équipés de circuits d'extraction et de division permettant de transformer l'impulsion de trame PCM (500 Hz) en un signal TTL de 25 Hz qui correspond à l'impulsion de synchronisation périodique de 40 ms. Un ordinateur initialise de part et d'autre les démultiplexeurs par l'intermédiaire d'extendeurs, de modems et de lignes téléphoniques et contrôle les compteurs d'intervalles, afin que la mesure se fasse au même instant sur chaque station. Afin d'obtenir une bonne résolution, les mesures s'effectuent sur une durée de 100 s. Après chaque mesure, l'ordinateur lit sur les compteurs la valeur obtenue, établit un contrôle de plausibilité, réactive le système et calcule la différence des temps. Les résultats des mesures sont stockés, avec d'autres opérations mathématiques, sur un disque qui peut être consulté en tout temps.

Le point le plus important consiste à ouvrir les compteurs d'intervalles au moment adéquat, plus précisément entre deux passages distants de 40 ms de l'impulsion TV. Ceci n'est pas évident si l'on songe que les temps de réaction entre les modems peuvent dépasser 100 ms. Des circuits auxiliaires non représentés sur la figure 6 permettent d'assurer cette synchronisation.

## 4 Résultats des mesures

### 41 Mesure en boucle

A l'aide d'une installation PCM à 2,048 Mbit/s, une première mesure a été réalisée sur une ligne en circuit fermé de façon à avoir accès à l'ensemble du système. Cette ligne d'environ 10 km relie le centre technique d'Ostermundigen à la station d'amplificateurs de Berne-Bollwerk et revient au point de départ.

Le graphique de la figure 7 montre les variations du temps de propagation enregistrées sur une période de 31 jours en octobre-novembre 1986. La valeur initiale de 38 172 ns a diminué progressivement d'environ 100 ns. En outre, un contrôle périodique de l'écart entre les deux récepteurs de TV a été effectué selon la méthode décrite au point 22; cet écart est toujours resté inférieur à  $\pm 4$  ns. Si l'on admet un coefficient de température de retard de 3 ns/km°C [2] pour une paire symétrique avec isolation papier, cette variation de 100 ns correspondrait

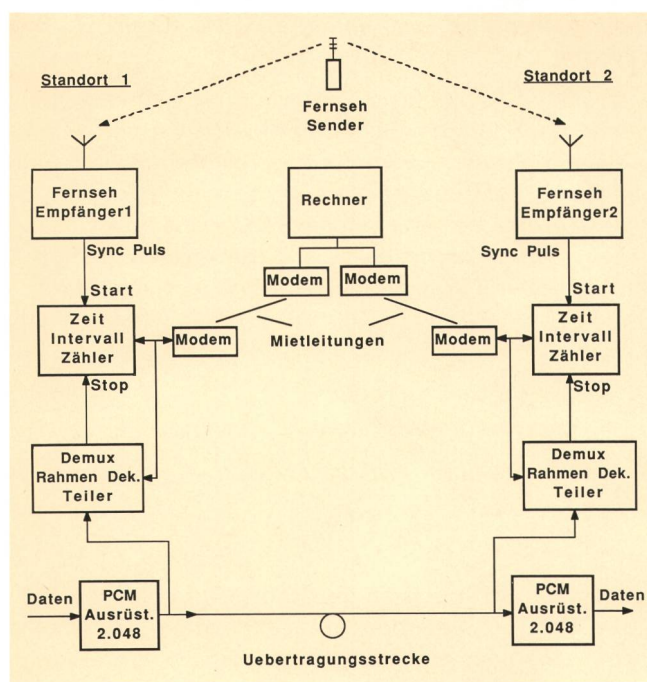


Fig. 6  
Messsystem zur Bestimmung von Laufzeitschwankungen auf Übertragungswegen – Conception de la place de mesure des variations du temps de propagation

Standort – Emplacement  
Fernsehsender – Émetteur de télévision  
Fernsehempfänger – Récepteur de télévision  
Synchronisationspuls – Impulsion de synchronisation  
Rechner – Ordinateur  
Zeitintervallzähler – Compteur à intervalle de temps  
Rahmen-Dek., Teiler – Détecteur de trame, diviseur  
PCM-Ausrüstung – Equipement MIC  
Übertragungsstrecke – Voie de transmission  
Mietleitungen – Lignes louées

ler selbständig über jeweils 100 s. Nach jeder Messperiode erfasst der Rechner die Werte beider Zähler, überprüft die Daten auf mögliche Fehler, startet eine neue Messung und bildet die Differenz beider Ablesungen. Die verarbeiteten Messdaten werden für die weitere Verwendung auf einem Plattenspeicher abgelegt.

Die zeitliche Steuerung beider Zähler ist der wichtigste Punkt, da ihre Eingangstore gleichzeitig innerhalb der 40 ms zwischen zwei Fernsehsynchronisationsimpulsen geöffnet werden müssen und dies bei einer Reaktionszeit von mehr als 100 ms zwischen den Modems. Zu diesem Zweck werden verschiedene Hilfsschaltungen verwendet, die in Figur 6 nicht dargestellt sind.

## 4 Messresultate

### 41 Messungen an einer PCM-Schleufe

Die ersten Messungen wurden an einer mobilen PCM-Ausrüstung mit einer etwa 10 km langen, zurückgeschlossenen PCM-Leitung zwischen dem Technischen Zentrum in Ostermundigen und der Übertragungsstelle Bern-Bollwerk durchgeführt. Figur 7 zeigt die entsprechenden Laufzeitschwankungen in einer Zeitspanne von 31 Tagen während der Monate Oktober und November 1986. Innerhalb der Beobachtungszeit von 31 Tagen hat sich die Laufzeit von anfänglich 38 172 ns stetig um 100 ns verkürzt. Während dieser Zeit wurden an den Empfängern periodisch Kontrollmessungen gemäss Ab-

à une différence de température d'environ 3°C, valeur plausible pour câble souterrain.

## 42 Mesure entre deux centraux différents

Depuis fin avril 1987, le système de mesure est en service entre Berne-Ittigen et Neuchâtel, sur une liaison d'environ 50 km à fibre optique de 140 Mbit/s. L'émetteur de TV est commun, il s'agit du Bantiger (canal 10). Les mesures ne portent pas seulement sur la ligne PCM, mais également sur toutes les installations de multiplexage et de démultiplexage comprises entre 2 Mbit/s et 140 Mbit/s, ainsi que sur les régénérateurs intermédiaires.

A court terme on a enregistré, certains jours, des variations allant jusqu'à  $\pm 50$  ns (fig. 8); en revanche, d'autres jours, ces variations ne dépassent guère  $\pm 5$  ns (fig. 9). Avant la publication de cet article, des fluctuations dépassant 400 ns ont été observées, au cours d'un enregistrement quotidien, sur une durée d'environ 2 h. Jusqu'ici aucune relation n'a pu être établie avec le moment de la journée ou le jour de la semaine.

Les variations à long terme (fig. 10) sont moins significatives. Le très faible coefficient de température de la fibre optique (0,035 ns/km°C [2]) empêche de constater des variations saisonnières notables. De fin avril à milieu mai, l'agitation a été plus importante. Par contre, des sauts assez importants se sont produits; ils ne sont pas reportés sur le graphique pour des raisons d'échelle. On remarque cependant en «A» un saut de +50 ns, en «B» de -100 ns et en «C» de +150 ns. Ces sauts sont peut-être dus à des modifications dans l'installation d'un ou des deux centraux ou à des phénomènes encore inconnus. Pendant les trois périodes D, E, F la mesure a été interrompue pour des raisons de restructuration du programme.

## 5 Conclusions

Ce procédé permet donc l'observation des variations à long terme du temps de propagation et de ses fluctua-

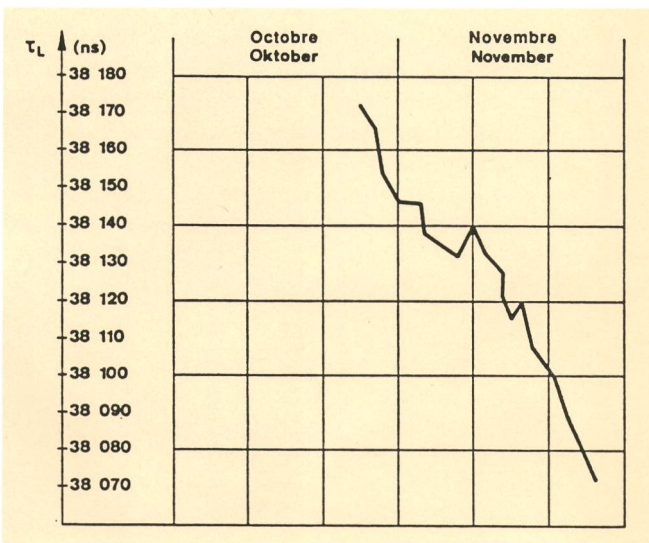


Fig. 7  
Langzeitige Laufzeitänderungen einer geschlossenen 2 Mbit/s-PCM-Schleife – Variations à long terme sur une transmission à 2 Mbit/s en circuit fermé

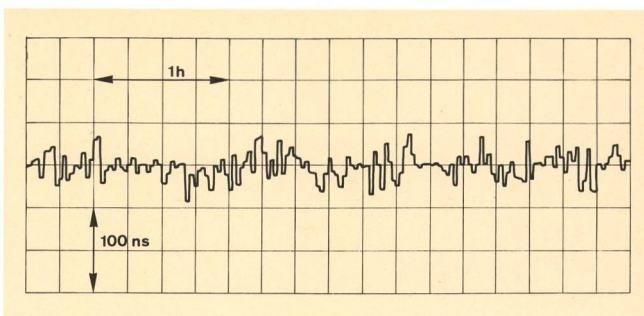


Fig. 8  
Kurzzeitschwankungen einer optischen 140 Mbit/s Übertragungstrecke, unruhige Periode – Variations à court terme sur une ligne de transmission de 140 Mbit/s à fibre optique, période agitée

schnitt 22 durchgeführt und Variationen von weniger als  $\pm 4$  ns festgestellt. Nimmt man für die Laufzeitänderung in einem paarsymmetrischen Kabel mit Papierisolation eine Temperaturabhängigkeit von 3 ns/km°C [2] an, so entspricht die Verkleinerung um 100 ns einer Temperaturänderung von etwa 3°C. Dies scheint für ein im Boden verlegtes Kabel durchaus realistisch.

## 42 Messungen zwischen verschiedenen Übertragungsstellen

Seit Ende April 1987 ist das Messsystem auf einer etwa 50 km langen optischen 140-Mbit/s-Übertragungstrecke zwischen Bern-Ittigen und Neuenburg eingesetzt. Dabei werden an beiden Messorten die Signale des gleichen Fernsehsenders (Bantiger, Kanal 10) verwendet. Bei dieser Messung wird nicht nur die 2,048-Mbit/s-PCM-Leitung gemessen, sondern das gesamte Übertragungssystem, einschliesslich Multiplexierung und Demultiplexierung von 2 Mbit/s...140 Mbit/s und der Regeneratoren auf der Strecke.

Die Beobachtungen lassen Tage erkennen, an denen die Kurzzeitschwankungen bis  $\pm 50$  ns betragen (Fig. 8), an anderen Tagen überschreiten sie kaum  $\pm 5$  ns (Fig. 9). Vor der Publikation dieses Artikels wurden bei den täglichen Messungen über eine Dauer von etwa zwei Stunden Laufzeitschwankungen von mehr als 400 ns beobachtet. Bis heute konnte weder ein Zusammenhang mit der Tageszeit noch mit dem Wochentag festgestellt werden.

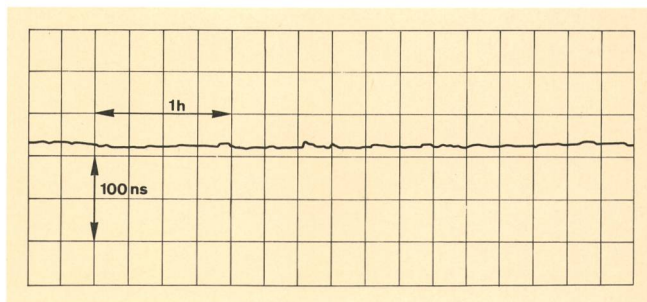


Fig. 9  
Kurzzeitschwankungen einer optischen 140-Mbit/s-Übertragungstrecke, ruhige Periode – Variations à court terme sur une ligne de transmission de 140 Mbit/s à fibre optique, période calme



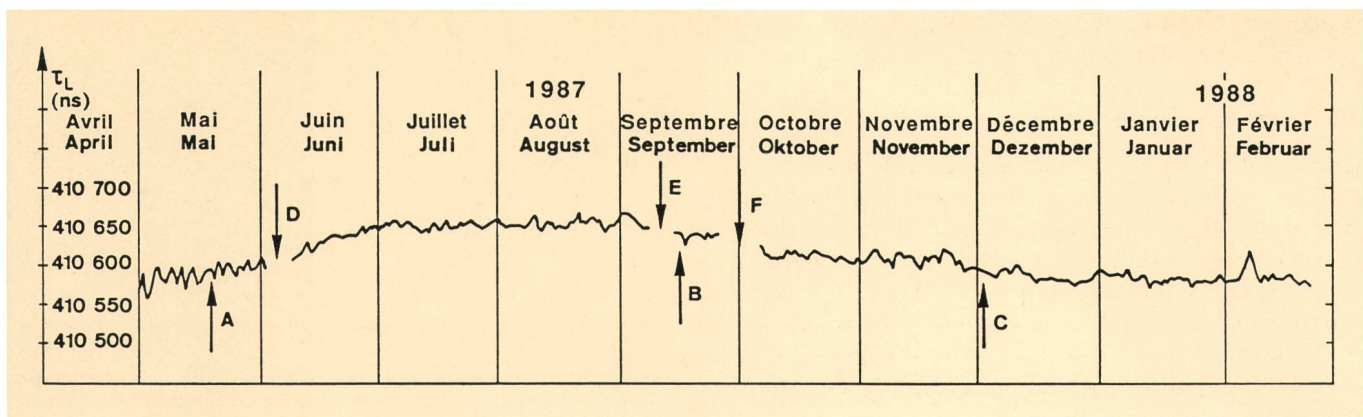


Fig. 10  
Langzeitige Laufzeitschwankungen einer optischen 140 Mbit/s Übertragungsstrecke – Variations à long terme sur une ligne de transmission de 140 Mbit/s à fibre optique

tions sur une transmission numérique en service. L'avantage majeur réside dans le fait que le trafic n'est pas perturbé et peut s'écouler normalement. La première expérience démontre, en outre, que cette méthode est précise. Elle permet, en effet, de mesurer des variations de différentes provenances et de diagnostiquer des erreurs dans la chaîne de transmission qui ne pourraient pas être décelées avec la méthode usuelle de mesure du taux d'erreurs.

#### Bibliographie

- [1] Kartaschoff P. A network timing concept for Switzerland. Proceedings of the seventeenth annual precise time and time interval (PTTI) applications and planning meeting, Washington, DC, Dec. 3–5, 1985, p. 287.
- [2] Kartaschoff P. Reference clock parameters for digital communications systems applications. Proceedings of the twelfth annual precise time and time interval (PTTI) applications and planning meeting, Greenbelt, Maryland, Dec. 2–4, 1980 (NASA Conference Publication 2175).
- [3] Comparison of methods for the transfer and dissemination of time and standard frequencies. Recommendations and reports of the CCIR, Vol. VII, Standard frequencies and time signal, report 363-4, Geneva 1978.
- [4] Saburi Y. and Yasuda Y. Precision comparison of time and frequency by means of TV signals. Review Radio Research Laboratories, Japan 18 (1978), p. 433–444.
- [5] Hilty K. and Mellana J.-Ph. Improved time measurement technique using the television synchronisation pulses. GD PTT Bern, Bericht VD 22.144U, 1987.
- [6] Simon P. Pegel und Phasenänderungen des 10-MHz-Piloten einer FDM-Richtfunkstrecke infolge Mehrwegausbreitung. GD PTT Bern, Bericht VD 35.1003U, 1981.
- [7] Mellana J.-Ph. Procédé de mesure permettant de déterminer le temps de trajet absolu et ses variations à long terme dans un système de transmission. DG PTT Berne, rapport VD 22.110, 1983.

Die Langzeitschwankungen (Fig. 10) sind wesentlich weniger ausgeprägt als jene der Messungen am paarsymmetrischen Kabel. Die sehr geringe Temperaturabhängigkeit der Laufzeit in optischen Kabeln ( $0,035 \text{ ns/km}^\circ\text{C}$ ) [2] lässt eine saisonbedingte Änderung nicht eindeutig erkennen.

Die täglichen Schwankungen von Ende April bis Mitte Mai sind wesentlich ausgeprägter als in der darauf folgenden Zeitspanne. Vereinzelt diskrete Laufzeitsprünge wurden in der Darstellung (Fig. 10) korrigiert, da sie mit grosser Wahrscheinlichkeit auf Änderungen an der Übertragungsstrecke oder in der Übertragungsstelle zurückzuführen sind (bei «A» +50 ns, bei «B» –100 ns, bei «C» +150 ns). Während der drei Perioden D, E, F mussten die Messungen wegen Programmänderungen unterbrochen werden.

#### 5 Schlussfolgerungen

Die dargestellte Messmethode erlaubt langfristig die Laufzeitschwankungen in digitalen, in Betrieb stehenden Übertragungsnetzen zu ermitteln. Der Vorteil besteht darin, dass der normale Verkehr und Betrieb nicht beeinflusst wird, da weder Schlaufen zu schalten sind noch Testverkehr eingespeist werden muss. Diese ersten Untersuchungen zeigen, dass diese Methode dank der hohen Empfindlichkeit in der Lage ist, Laufzeitschwankungen verschiedensten Ursprungs zu erfassen und Fehler in der Übertragungskette zu entdecken, die mit den üblichen Bitfehler-Messungen kaum bemerkt werden.