



## Zwei-Weg-Satelliten- Zeit- und Frequenzvergleich (TWSTFT)

### Zweck und Anwendung

TWSTFT-Messungen (**T**wo-**W**ay **S**atellite **T**ime and **F**requency **T**ransfer) werden angewendet, um Zeitskalen und Frequenzen zwischen zwei Partnerlabors auf höchstem Niveau über sehr weite Distanzen miteinander zu vergleichen.

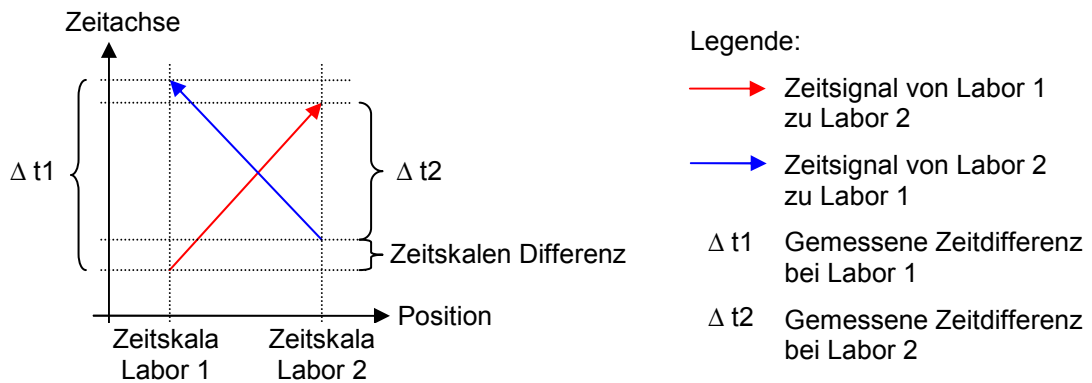
Üblicherweise wird diese Vergleichsmethode von NMI's angewendet um einerseits die nationalen Zeitskalen UTC(Labor) genauer an UTC anzubinden, und um andererseits Primärfrequenznormale miteinander vergleichen zu können.

### Prinzip

Von beiden am Vergleich beteiligten Labors werden nahezu gleichzeitig Zeitsignale entsprechend ihrer Zeitskalen ausgesendet, über einen geostationären Satelliten umgesetzt und vom Partnerlabor wieder empfangen. Jedes Labor misst dabei die Zeitdifferenz zwischen gesendetem und empfangenem Zeitsignal. Die rechnerische Hälfte der Differenz der gemessenen Zeitdifferenzen vom gesendeten zum empfangenen Zeitsignal der beiden Labors ergibt die momentane Zeitdifferenz der Zeitskalen.

Die Änderung der so ermittelten Zeitdifferenzen über die Zeit entspricht dann der relativen Frequenzabweichung der als Referenzen angezogenen Zeitskalen.

Das typische an dieser Vergleichsmethode ist, dass sich allfällige Signalverzögerungen wegen derselben Übertragungsstrecke und demselben Übertragungszeitpunkt nahezu aufheben.



Figur 1. TWSTFT Prinzip

Nach dem Austausch der gemessenen Daten kann die Zeitdifferenz der Zeitskalen sowie deren Frequenzabweichung berechnet werden.

$$\begin{aligned} \text{Zeitskalen Differenz}_{(t)} &= \frac{(\Delta t1 - \Delta t2)}{2} \\ \frac{f_{(\text{Zeitskala1})} - f_{(\text{Zeitskala2})}}{f_{TAI}} &= \frac{\Delta(\text{Zeitskalen Differenz})}{\Delta t} \\ y_{(\text{Zeitskala1})-(\text{Zeitskala2})} &= \frac{f_{(\text{Zeitskala1})} - f_{(\text{Zeitskala2})}}{f_{TAI}} \end{aligned}$$

## Aufbau

Nachfolgendes Schema zeigt den prinzipiellen Aufbau einer TWSTFT Station, wie sie auch am METAS realisiert wurde. Um entsprechende Messungen durchführen zu können, brauchen beide Partner eine äquivalente Einrichtung, deren Betriebsparameter und Messzeitplan aufeinander abgestimmt sein müssen.

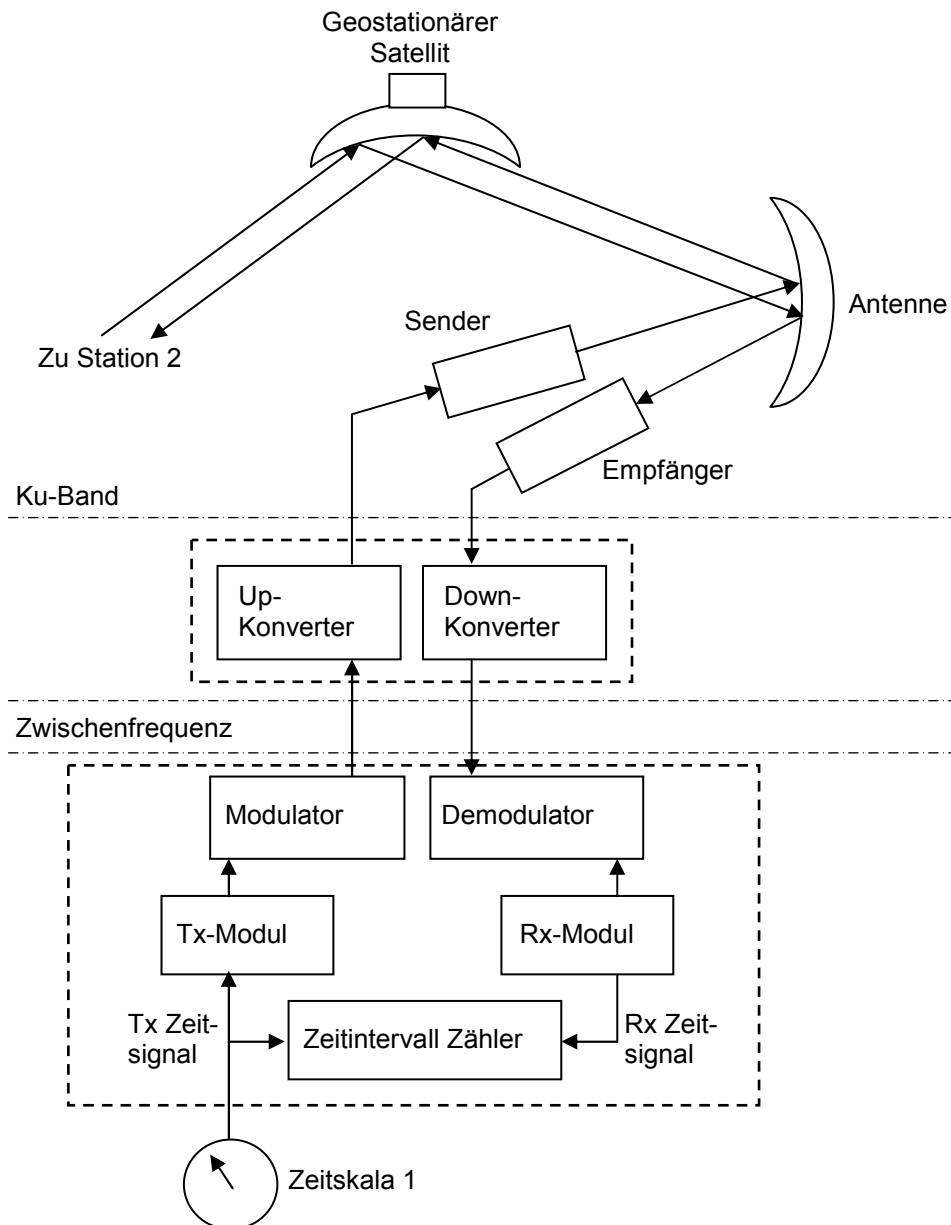


Fig. 2: Schema Station 1

Das Zeitsignal Tx von Zeitskala 1 wird im Tx-Modul in ein äquivalentes digitales Rauschsignal mit fester Bitrate nach der Modulationsart pseudo-noise code division multiple access (PN-CDMA) umgewandelt.

Der Modulator setzt das Signal in eine Zwischenfrequenz (ZF) von 70MHz um, und der Up-Konverter hebt das Signal ins Ku-Band im Bereich von 12-14.5GHz an. Der Sender verstärkt das Signal und gibt es über die Antenne in den Raum zum Satelliten und schliesslich zur Station 2 ab.

Gleichzeitig wird vom Satelliten das Signal der Station 2 über den Empfänger dem Down-Konverter zugeführt, der es auf die ZF herabsetzt. Der Demodulator generiert wiederum ein PN-CDMA-Signal, das vom Rx-Modul in ein Zeitsignal umgesetzt wird.

Die eigentliche Messung ist eine Zeitintervallmessung zwischen dem gesendeten- und empfangenen Zeitsignal Tx und Rx.

Dieses Resultat von Station 1 entspricht der unter dem Kapitel Prinzip beschriebenen Zeitdifferenz  $\Delta t_1$ .

## Messmöglichkeiten

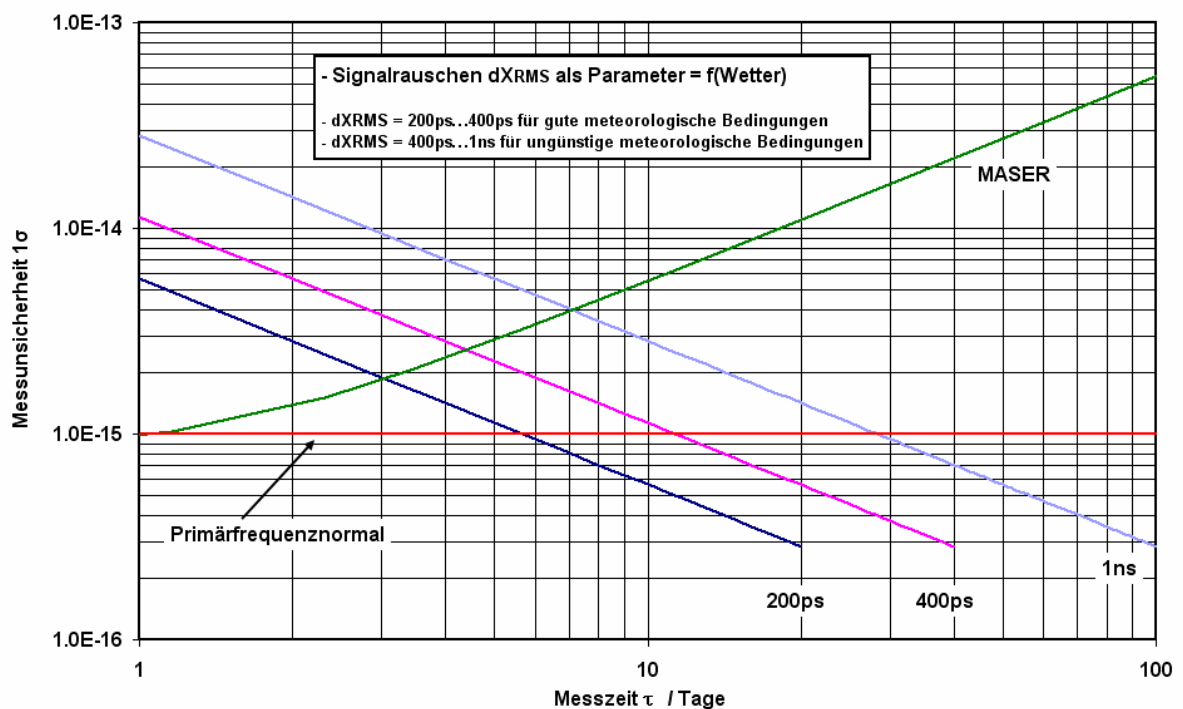


Fig. 3: Messunsicherheit als Funktion der Messzeit, Signalrauschen als Parameter

## Resultate

Seit Januar 2005 nimmt METAS regelmässig an TWSTFT-Messungen im Rahmen der internationalen Arbeitsgruppe des CCTF (Comité consultatif du temps et des fréquences) teil.

Im Sommer 2006 wurde die TWSTFT-Verbindung zwischen METAS, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der Technischen Universität Graz (TUG) anlässlich einer speziellen Kampagne kalibriert. Die dabei berechneten Kalibrationskonstanten konnten mit Unsicherheiten von weniger als 1.0 ns ( $1\sigma$ ) bestimmt werden.

Somit wird es zukünftig möglich sein, die schweizerische Zeitskala UTC(CH) über TWSTFT in UTC einzubinden.

## Referenzen

O. Koudelka, H. Ressler, B. Blanzano

### **Two-Way-Satellite-Time-Transfer Calibration of METAS – PTB**

Joanneum Research, May/June 2006

D. Piester, B. Blanzano, K. Jaldehag, G. de Jong, P. Whibberley, J. Achkar, L. Lorini, J. Becker, I. Sesia, H. Ressler, O. Koudelka

### **Calibration of Six European TWSTFT Earth Stations Using a Portable Station**

presented on 20th European Frequency and Time Forum - EFTF 2006, Braunschweig, Germany, 27-30 Mar 2006

### **The operational use of Two-way satellite time and frequency transfer employing PN codes**

Recommendation ITU-R TF.1153-2, 1995-1997-2003

D. Kirchner

### **Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT): Principle, Implementation, and Current Performance**

Technical University Graz, 1999



Das Bundesamt für Metrologie (METAS) realisiert die nationalen Referenzmasse der Schweiz, sorgt für deren internationale Anerkennung und gibt diese Masse in der erforderlichen Genauigkeit an Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft weiter. Es sorgt zudem dafür, dass die für den Handel sowie für den Schutz und die Sicherheit von Mensch und Umwelt notwendigen Messungen richtig und vorschriftsgemäss durchgeführt werden können.

## Kontakt

Christian Schlunegger

Dipl. Ing. HTL

### **Bundesamt für Metrologie METAS**

Lindenweg 50, CH-3003 Bern-Wabern

Tel. +41 31 32 33 301

[christian.schlunegger@metas.ch](mailto:christian.schlunegger@metas.ch)

[www.metas.ch](http://www.metas.ch)

Januar 2007