

Zeitschrift: Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology
Herausgeber: Swisscom
Band: 79 (2001)
Heft: 9

Artikel: Präzise Zeit - weltweit
Autor: Aschmoneit, Ernst-Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876579>

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: 11.01.2026

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

Präzise Zeit – weltweit

Von ihren hochpräzisen Atomuhren leitet die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig Zeit- und Synchronisationssignale ab, die der bei Mainflingen nahe Frankfurt am Main stehende Sender DCF77 seit dem 5. Juni 1973 als «Gesetzliche Zeit» ausstrahlt.

Der Sender arbeitet im Langwellenbereich mit Amplitudenmodulation der hochgenauen Normalfrequenz von 77,5 kHz. Seine Bodenwelle deckt einen Umkreis von etwa 2000 km ab. Diese Signale werden heute nicht nur

ERNST-KARL ASCHMONEIT

Uhren von Verkehrsanstalten, beispielsweise auf Bahnhöfen, Flugplätzen und öffentlichen Plätzen vieler Städte, für eine über weite Gebiete exakt gleiche Zeitanzeige aus, sondern längst auch Uhren in Behörden, Schulen und Privathaushalten. Seit einiger Zeit gibt es sogar Armbanduhren mit integrierter Mikroelektronik-Funksteuerung. Bild 1 veranschaulicht das Protokoll der ausgesendeten Daten. Den Zyklusbeginn markiert eine Verminderung der Trägeramplitude auf 25%, die bei 100 ms Länge eine logische Null und bei 200 ms Länge eine logische Eins kennzeichnet.

Die funkgesteuerte Uhrensynchronisation hat sich seither bestens bewährt. Allerdings bewirken zuweilen Störstrahlungen elektrischer Geräte Beeinträchtigungen des Empfangs und somit Fehler beim Erkennen der Zeitzeichen. Ausserdem gilt als Nachteil, dass der Erfassungsbereich des Senders etwa auf Mitteleuropa begrenzt ist und der Langwellenträger infolge seiner niedrigen Frequenz nur kleine Datenraten zulässt. Das bedeutet, dass eine Neueinstellung der Uhren, beispielsweise nach einem Batteriewechsel, mindestens zweieinhalb Minuten dauert, weil immer zwei aufeinander folgende Protokolle ausgewertet werden, um die Richtigkeit der eingeleseenen Daten sicherzustellen.

Diese Fakten veranlassten die europäische Raumfahrtorganisation ESA, 1996 mit der russischen Organisation RSC-Energia Verhandlungen über eine Zusam-

menarbeit bei deren Euromir-Missionen für eine Uhren-Funkfernsteuerung aus der Erdumlaufbahn aufzunehmen. Beabsichtigt war, im «Spektr-Modul» der Raumstation MIR vorhandene Geräte zu benutzen. 1997 zerstörte jedoch eine Progress-Rakete, die mit der MIR kollidierte, einen Teil dieser Geräte. Daraufhin kamen ESA und RSC-Energia Ende 1997 überein, das vom deutschen Steinbeis Transferzentrum Raumfahrtssysteme (TZR) vorgeschlagene «Global Transmission Services Experiment» (GTS) auf der International Space Station (ISS), und zwar in deren, von Russland beigesteuerten und im Juli 2000 gestarteten Zvezda-Modul zu installieren. Von dort aus soll dieses mindestens zwei Jahre lang ununterbrochen ein UTC-Zeitsignal senden, damit Empfänger rund um die Erde täglich fünf bis zwölf Minuten lang präzise Zeitangaben empfangen können. Dazu gehören auch Daten über die jeweilige Orbitalposition der ISS. Sie ermöglichen es den Uhren, selbsttätig jeweils die lokale Zeitzone abzuleiten.

Systemkonfiguration

GTS besteht aus der Electronics Unit (EU) und der Antenna Unit (AU). Die nur 350 x 300 x 210 mm grosse, im Zvezda-Modul angeordnete Elektronik-Einheit enthält alle Funktionsstufen für das Experiment sowie für die Signalerzeugung und -verteilung. Ferner sind darin die Datenschnittstellen zum Zvezda-Modul für den Austausch der Kommando-, Telemetrie- und Orbitaldaten. Den Mittelpunkt bildet ein ultrastabiler Quarzoszillator (USO) als Kern des Lokalzeit-Generators, dessen Fehler mit 10-13 ausserordentlich gering ist. Zusätzlich wird er in jedem Umlauf der ISS von einer Atomuhr am Boden synchronisiert. Sein extrem genaues Zeitsignal steht den Bordsystemen als Basis wissenschaftlicher Untersuchungen über einen Puls- und Frequenzausgang zur Verfügung.

Die Antenneneinheit (Bild 2) ist an der Aussenwand des Zvezda-Moduls mit Ausrichtung zur Erde installiert (Bild 3). Sie strahlt die GTS-Signale auf den Frequenzen 400,1 MHz und, für Breitbanddienste, 1,4 GHz ab. Der digitale Frequenz-Synthesizer des Senders erlaubt es, sowohl verschiedene Frequenzen als auch Modulationstechniken zu testen mit dem Ziel, Interferenzen mit anderen Verbindungen zwischen den Raum- und

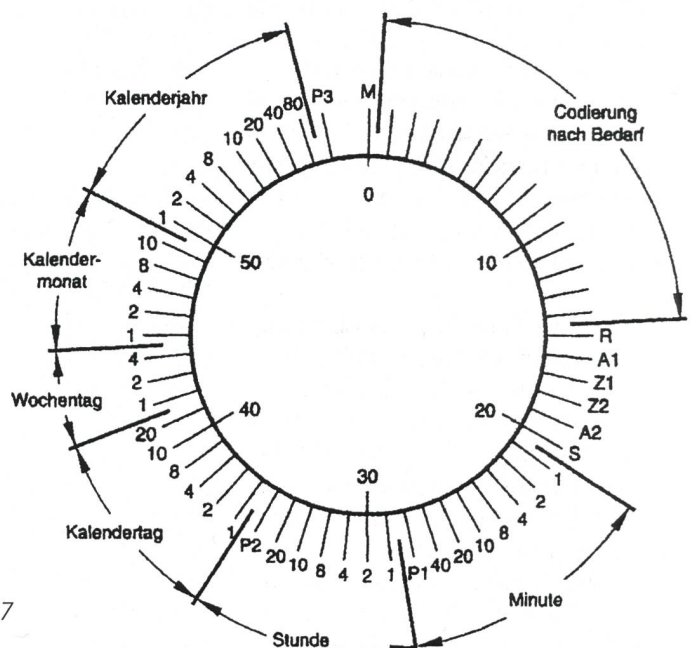


Bild 1. Protokoll des Präzisions-Zeitsignals, das vom Sender DCF77 verbreitet wird.

Bodenstationen zu verhindern. Durch ihre Form gewährleisten die Strahlerelemente für die Empfänger am Boden eine nahezu konstante Signal-Feldstärke bis herab zu 15° Erhebungswinkel über dem Horizont während des ISS-Umlaufs. Der von einer Vier-Elemente-Phasenanordnung ausgesendete UHF-Hauptstrahl kann in acht Schritten über einen Winkel von 70° gedreht werden.

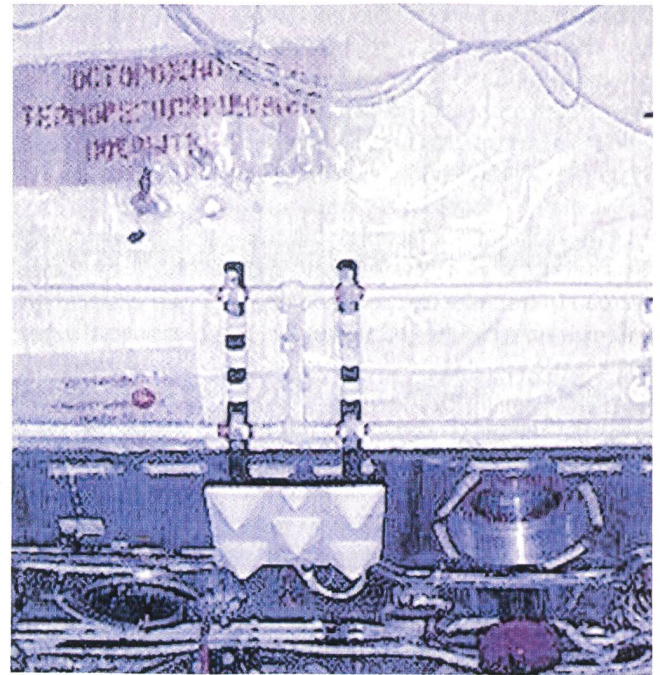
Nach abgeschlossener Flugerprobung Mitte März 2001 war das GTS-Experiment bereit für den Start mit einer Progressfähre zur ISS. Dort konnten es die Kosmonauten installieren und aktivieren sowie nach der Funktions-Verifikation in Betrieb nehmen.

Zusammensetzung des GTS-Signals

Während das Mission Control Centre in Moskau (MCC-M) den Betrieb des GTS-EU steuert, versorgt es das Experimentzentrum in Stuttgart mit Daten, darunter insbesondere mit vorausberechneten Werten der ISS-Bahn. Sie synchronisieren nicht nur mit ihren Zeitinformationen einmal pro Tag die Borduhr, um ihre hohe Genauigkeit zu sichern, sondern tragen auch dazu bei, die von den Uhren am Boden zur Auswertung benötigte Zeitdauer zu minimieren. Die vom autonom und vorwiegend kontinuierlich arbeitenden GTS übermittelten Informationen umfassen zum einen Uhrzeit und Angaben zum jeweiligen Standort der ISS über ihrem Fusspunkt auf der Erdoberfläche. Zum andern geben sie auch Hinweise zum Status der Station und der Bordgeräte, die für die Überwachung durch das MCC-M bestimmt sind. Die Empfänger am Boden können, indem sie die Doppler-Verschiebung des GTS-Signals messen, den Moment grösster Annäherung der Station ermitteln. Dabei erlaubt der rotationsmodulierte Strahl die eindeutige Unterscheidung zwischen den beiden Bewegungsrichtungen. Daraus bestimmt die empfangende Uhr das korrekte Zeitdatenpaket für ihre eigene Position.

Ausser der kontinuierlichen Ausbreitung von Zeitsignalen für die weltweite Uhrensynchronisation soll das GTS auch wissenschaftliche Aufgaben erfüllen. Beabsichtigt ist, die Eigenschaften und Genauigkeit der aus niedrigem Orbit, unter realen Weltraum-Betriebsbedingungen gesendeten Zeitsignale zu erfassen, die Signalqualität und die nutzbaren Datenraten am Boden zu messen und Verzerrungseffekte, wie Dopplerverschiebung,

Bild 2. GTS-Antennen-Einheit AU, installiert am Zvezda-Modul der ISS.



Mehrwegeausbreitung, Abschattung und Elevationseffekte, zu untersuchen. Dadurch bedingte Eingriffe, etwa Schattvorgänge im Sender, veranlasst das MCC-M ohne Mitwirkung der Bordmannschaft. Dabei gilt es, Unterbrechungen des Experimentbetriebs möglichst zu vermeiden, weil jede Reaktivierung der Experimente mit der Uhren-Rekalibrierung acht bis zehn Tage beansprucht.

Kombination von GTS und GPS

Fraglich ist noch, ob es zweckmässig wäre, die Uhren- mit GPS-Signalen zu

kombinieren, obwohl das «Global Positioning System», GPS, keine lokale Zeit-zoneninformation bereitstellt. Immerhin ist GPS ursprünglich von den USA als militärisches System konzipiert worden, dessen Betreiber es zur Wahrung seiner Interessen in Krisenzeiten mit Fehlersignalen stören kann. GPS-Satelliten sind im Orbit für Wartungs- und Reparaturarbeiten nicht zugänglich. Anders ist dies auf der ISS. Da bereitet es keine wesentlichen Schwierigkeiten, nötigenfalls fehlerhafte Komponenten des GTS auszutauschen, also seine Betriebsfähigkeit na-

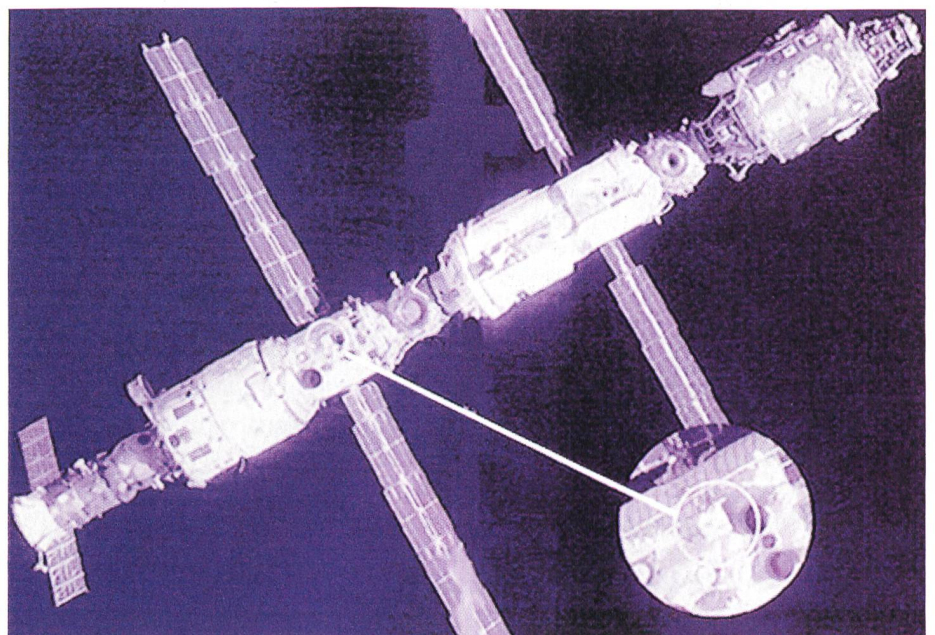


Bild 3. Kennzeichnung der AU-Anordnung am Zvezda-Modul der internationalen Raumstation.

hezu unterbrechungsfrei zu gewährleisten, aber auch das System im Bedarfsfall während des Betriebs zu optimieren und neuen Bedingungen anzupassen. Immerhin würde das Global Positioning System es ermöglichen, gestohlene, mit GPS-Geräten ausgerüstete Autos aufzuspüren und mit Hilfe von über GTS übertragenen Sicherheitscodes deren Türen zu sperren oder die elektrischen Stromkreise zu unterbrechen. Dafür ist ein Signal erforderlich, das auch extrem miniaturisierte, in die Wagenschlüssel integrierte Empfänger auswerten kann. Es muss ausfallsicher und schwer zu imitieren sein, damit Autodiebe nicht im Stande sind, es mit einem Sender am Boden vorzutäuschen. Zudem soll der Code nach jeder Benutzung wechseln, sodass er nicht nach Mitschnitt als richtiges Signal dienen kann. Insgesamt resultiert aus der Kombination von nichtlinearen Pseudo-Rauschspektrum-Signalen, der grossen Doppler-Verschiebung und den Orbitinformationen ein nahezu fälschungssicherer «Fingerabdruck».

Systempartner

Grundsätzlich war schon bei der Planung für GTS eine kommerzielle Basis vorgesehen. Deshalb gründeten die beteiligten Entwicklungs- und Forschungspartner eine «Service Provider Company», die den gesamten Aufwand und die Betriebskosten durch den Verkauf von Lizenzen und spezifischer Dienste für Endnutzer finanzieren sollte. Das Ent-

wicklungs-Budget von insgesamt 6,5 Mio. Euro stammt zu 53% aus öffentlichen Mitteln – 36% von der ESA, 11% vom Land Niedersachsen und 6% vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – und zu 47% aus Industriequellen.

Den Hauptanteil beim Bodensegment übernahm die Fortis Uhren GmbH. Sie entwickelte die Hardware für das Experiment auf eigene Rechnung und führte die Bodentests durch, wobei sie die von der ISS abgegebenen Signale nutzte. Aufgaben des TZR sind nach der Entwicklung des Raumsegments, für das die DLR Bestandteile lieferte, der GTS-Betrieb an Bord der ISS, aber auch die Koordination der wissenschaftlichen Nutzung. Und die ESA war für die Startvorbereitungen, den Betrieb in der ISS während der zweijährigen Experimentalphase und für die zugehörigen Bodeninfrastrukturdienste, beispielsweise den Datenaustausch mit der MCC-M, zuständig. Als besonders wichtig erwies sich die Entwicklung neuer Empfänger-Chips und deren Integration in Armbanduhren und in die Autoelektronik.

9

Ernst-Karl Aschmoneit, Oberingenieur i. R., Fachjournalist VDE-NTG, Mölln, Deutschland

Summary

Precise time – worldwide

Using its high-resolution atom clocks the Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig is able to pick up the time and synchronizing signals that have been broadcast as "official time" since 5 June 1973 by the transmitter DCF77 just outside Mainflingen near Frankfurt a.M. The transmitter operates on long wave with amplitude modulation at the standard frequency of 77,5 kHz. Its ground wave spans a radius of approximately 2000 km. These signals are used today to synchronize not only the clocks of traffic hubs such as railway stations, airports and public squares in many towns in order to enable the exact time to be displayed over a large area, but for a long time have also been used for the clocks of civil authorities, in schools and in private households. For some time now there have even been wrist-watches with built-in microelectronic radio control.

Mini-Motor treibt Laptop an

Ein Winzling tankt 0,04 l Propan und sorgt für zwei Stunden Betrieb. Forscher der Universität von Kalifornien haben nach eigenen Angaben den kleinsten Motor der Welt entwickelt. Die Miniatur soll sogar Strom für einen Laptop produzieren können. Derzeit schafft der Motor eine Leistung bis zu 2,5 W, womit eine Fahrradlampe betrieben werden kann. Der Umlaufmotor läuft mit Propan und hat eine zehnmal längere Lebensdauer als herkömmliche Lithiumionen-Batterien. Dabei reicht schon ein 0,04 l Glas Treibstoff, um den Motor zwei Stunden lang in Betrieb zu halten, so Carlos Fernandez-Pello von der kalifornischen Universität. Obwohl die Umweltverschmutzung gering ist, entwickelt der Forscher gleichzeitig auch einen Mini-Katalysator. Das Team will im nächsten Schritt in Zusammenarbeit mit der Fukui-Universität in Japan einen stecknadelgrossen Mikromotor entwickeln, der Mobiltelefone betreiben kann.

Homepage: www.me.berkeley.edu

Gratis-Softwaretool für blinde Internetsurfer

Der deutsche Anbieter von Hilfsmitteln für Blinde, Frank Audiodata, will mit der Gratis-Software «WebFormator» Blinden und Sehbehinderten das Surfen im Internet erleichtern. Das Programm öffnet sich automatisch beim Starten des Internet Explorers und zeigt den Inhalt einer Website in einem separaten, übersichtlich gestalteten Textfenster an. Die Texte werden dann sehbehindertengerecht übersetzt. Damit Blinde und Sehbehinderte den übersetzten Text lesen können, benötigen sie zusätzlich entsprechende Hilfsmittel wie Blindows oder andere gängige Screenreader. Dank der eingebauten Komfortfunktionen des WebFormators sind auch Links, Frames und Formularfelder gezielt anwählbar. Somit können laut Audiodata Informationen im Internet auch von Blinden und Sehbehinderten schnell gefunden werden. Der WebFormator kann unter der untenstehenden Website nach kurzer Registrierung kostenlos aus dem Netz heruntergeladen werden. Systemvoraussetzungen sind Windows 98, ME, 2000 und NT4 ab Servicepak 4 (empfohlen 6), Internet Explorer ab Version 5.01 sowie Blindows oder andere Screenreader.

Homepage: www.webformator.de
Homepage: www.audiodata.de

IAONA Europe:

Marketinggruppe Schweiz gegründet

Die Industrial Automation Open Networking Alliance hat durch die Gründung der IAONA Schweiz (www.iaona.ch) ihre erste regionale Marketinggruppe, die mit 14 Mitgliedern gestartet ist, bekommen.

Die IAONA Schweiz ist eine Regionalgruppe der IAONA Europe, der erste Vorstand ist Hans Rüegsegger von der Firma Emmesys. Ziel ist, die Verbreitung der Ethernet-Technologie in der Schweiz durch Seminare, Informationsaustausch, Öffentlichkeitsarbeit, Beratung und Unterstützung in der praktischen Anwendung zu fördern.

Kurzfristig sind ein Event im Rahmen der Ineltec (Basel) und zwei grosse Ethernet-Workshops für Ende Oktober geplant.

