

Allgemeine Hinweise 4
 Sicherheit 4
 Verwendete Symbole auf dem Gerät 4
 Garantie 4
 Servicehinweise und Wartung 4
 Betriebsbedingungen 4

Bedienungselemente HM8125 5
 Lieferumfang 5
 Funktionsprinzip des HM8125 6

Installation 6
 Allgemeines 6
 Erste Inbetriebnahme 6

Bedienung 7
 Lock Lost 7
 Menü-Struktur 8
 Beschreibung der Untermenüs 8
 Time 8
 FREQ 9
 RECVR 9
 STAT 10
 Ergänzende Informationen zu den
 in den Menüs verwendeten Daten 10
 Gerätemeldungen 10
 Aussendung der seriellen Schnittstelle 11
 Bemerkungen zum DCF77-Kode 12

**Verwendung von GPS-Empfängern zur
 Frequenz- und Zeitbestimmung** 13
 Funktionsprinzip des GPS-Systems 13
 Erreichbare Genauigkeit für
 reine C/A-Code-Empfänger 13
 Erreichbare Genauigkeit für Empfänger 14
 mit Trägerphasen-Messung 14
 Kombinierte Auswertung 14
 von Code- und Trägerphase 14
 Begrenzungen der nutzbaren Genauigkeit 15
 Differenzmessungen (DGPS) 15
 DCF77 16
 Zeitinformation und Normalfrequenz 16
 Trägerfrequenz 16
 Amplitudenmodulation (AM) 16
 Codierung 16

Empfang der DCF77-Normalfrequenz 18

GPS Frequency Standard
 HM8125

Bedienungsanleitung	
Operating Manual	21

**KONFORMITÄTSERKLÄRUNG
DECLARATION OF CONFORMITY
DECLARATION DE CONFORMITE**



HAMEG[®]
Instruments

Name und Adresse des Herstellers
Manufacturer's name and address
Nom et adresse du fabricant

HAMEG GmbH
Kelsterbacherstraße 15-19
D - 60528 Frankfurt

HAMEG S.a.r.l.
5, av de la République
F - 94800 Villejuif

Die HAMEG GmbH / HAMEG S.a.r.l. bescheinigt die Konformität für das Produkt
The HAMEG GmbH / HAMEG S.a.r.l. herewith declares conformity of the product
HAMEG GmbH / HAMEG S.a.r.l. déclare la conformité du produit

Bezeichnung / Product name / Designation: **GPS Zeit-/Frequenz-Normal/GPS Frequency Standard**

Typ / Type / Type: **HM8125**

mit / with / avec: -

Optionen / Options / Options: -

mit den folgenden Bestimmungen / with applicable regulations / avec les directives suivantes

EMV Richtlinie 89/336/EWG ergänzt durch 91/263/EWG, 92/31/EWG
EMC Directive 89/336/EEC amended by 91/263/EWG, 92/31/EEC
Directive EMC 89/336/CEE amendée par 91/263/EWG, 92/31/CEE

Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG ergänzt durch 93/68/EWG
Low-Voltage Equipment Directive 73/23/EEC amended by 93/68/EEC
Directive des équipements basse tension 73/23/CEE amendée par 93/68/CEE

Angewendete harmonisierte Normen / Harmonized standards applied / Normes harmonisées utilisées

Sicherheit / Safety / Sécurité

EN 61010-1: 1993 / IEC (CEI) 1010-1: 1990 A 1: 1992 / VDE 0411: 1994
Überspannungskategorie / Overvoltage category / Catégorie de surtension: II
Verschmutzungsgrad / Degree of pollution / Degré de pollution: 2

Elektromagnetische Verträglichkeit / Electromagnetic compatibility / Compatibilité électromagnétique

EN 50082-2: 1995 / VDE 0839 T82-2
ENV 50140: 1993 / IEC (CEI) 1004-4-3: 1995 / VDE 0847 T3
ENV 50141: 1993 / IEC (CEI) 1000-4-6 / VDE 0843 / 6
EN 61000-4-2: 1995 / IEC (CEI) 1000-4-2: 1995 / VDE 0847 T4-2: Prüfschärfe / Level / Niveau = 2

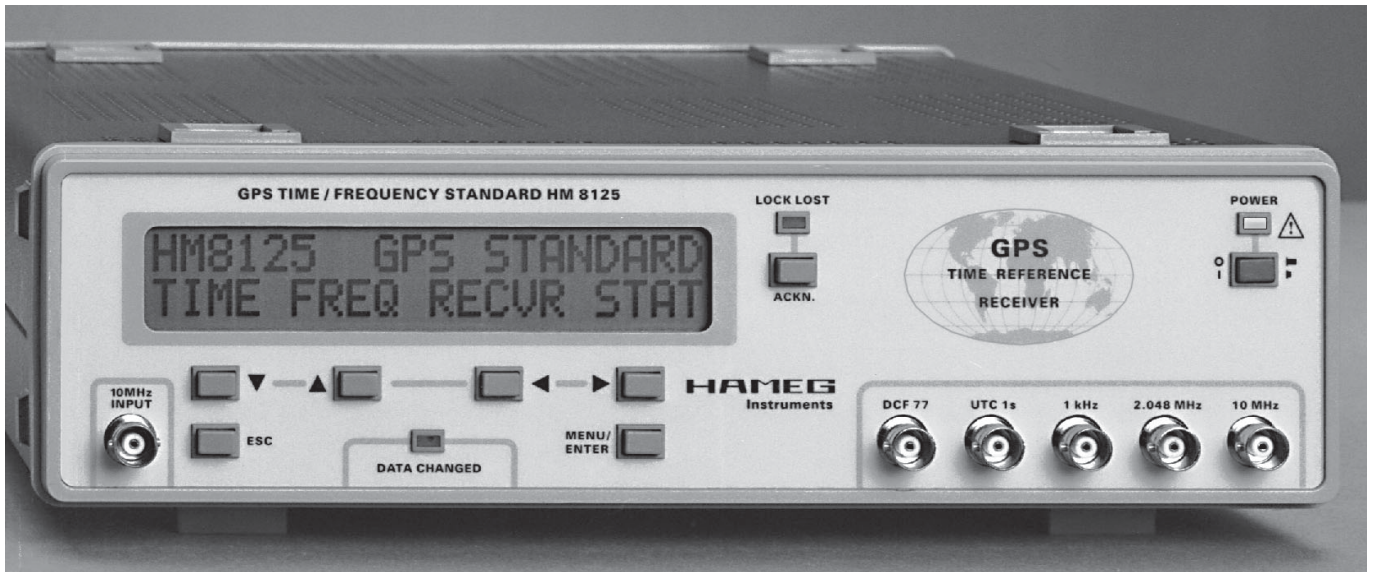
EN 61000-4-4: 1995 / IEC (CEI) 1000-4-4: 1995 / VDE 0847 T4-4: Prüfschärfe / Level / Niveau = 3

EN 50081-1: 1992 / EN 55011: 1991 / CISPR11: 1991 / VDE0875 T11: 1992
Gruppe / group / groupe = 1, Klasse / Class / Classe = B

Datum / Date / Date
24.04.1996

Unterschrift / Signature / Signatur

Dr. J. Herzog
Technical Manager
Directeur Technique



HM 8125 GPS Zeit-/Frequenz-Normal

- Hochgenaue Frequenzgenerierung
- Genauigkeit bis zu 1×10^{-12}
- Kurzzeitstabilität 3×10^{-10} bei 2 Sek Integrationszeit
- 1 PPS (Puls pro Sekunde) Ausgang
- DCF-Signalgenerierung

Der **HM8125** ist ein Zeit- und Frequenznormal zur Generierung hochpräziser Zeitmarken und Frequenzen und zur Bereitstellung hochgenauer Positionierungsdaten. Die Genauigkeit basiert auf dem NAVSTAR **G**lobal **P**ositioning **S**ystem (**GPS**). Das System besteht aus 24 Satelliten, deren Cäsium-Normale die erzielbare Genauigkeit garantieren.

Der **HM8125** empfängt die Satellitensignale und errechnet innerhalb einer Zeitspanne von 2 bis 15 Minuten nach der Inbetriebnahme seine aktuelle Position. Die erfolgte Synchronisation kann durch entsprechende Nachrichten auf einer 2x20 stelligen LCD überwacht werden. Genaue Positionsangaben können auf dem geräteeigenen LCD abgelesen werden. Die vom Gerät zur Verfügung gestellten Zeitmarken werden mit einer Präzision von ± 100 ns relativ zu **UTC** dargestellt. Die generierten Frequenzen haben eine Genauigkeit von $\pm 1 \times 10^{-12}$ (24 Std.), wenn der **HM8125** zu den Satelliten synchronisiert ist. Zeit- und Synchronisationsdaten sind über die serielle Schnittstelle verfügbar und erlauben so den Einsatz des **HM8125** in Kalibrier- oder Überwachungseinrichtungen.

Zum Einsatz im Bereich Telekommunikation stellt der **HM8125** ein **2.048MHz** Signal bereit, welches ebenfalls GPS-synchronisiert ist. Darüber hinaus können externe Frequenzen (Ablage max. 70ppm) mit einer Genauigkeit von bis zu $\pm 3 \times 10^{-10}$, gemessen werden. Der **HM8125** ist in der Lage (als Option), einen internen oder externen Rubidium-Oszillator zu disziplinieren.

Durch die Übertragung der notwendigen Informationen via Satellit ist ein weltweiter Einsatz des Gerätes ohne Probleme möglich. Der **HM8125** wird komplett mit Antenne, Antennenkonverter und Kabel geliefert.

- Frequenzmessung für 10MHz Signale mit 3×10^{-10}
- Präzise Zeit- und Positionsangaben
- Weltweit einsetzbar ohne Geräteänderungen
- RS-232 Schnittstelle serienmäßig
- Niedrige Betriebskosten

Spezifikationen

(Bezugstemperatur : $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)

Zeitmarken- und Frequenz-Generierung

Frequenz Ausgang:	10MHz, 2.048Mhz, 1kHz
Genauigkeit:	$\pm 3 \times 10^{-10}$ bei 2 Sekunden Meßzeit $\pm 1 \times 10^{-12}$ bei 24 Std. Meßzeit
Zeitmarken-Ausgang:	1 PPS (Puls pro Sekunde)
Genauigkeit:	100 ns bezogen auf UTC o. GPS-Zeit
Jitter:	<5ns
Sonstige Ausgänge:	DCF77
Positionsangaben:	Breitengrad, Längengrad und Höhe
Genauigkeit:	100m; 150m für die Höhe (unter "Selective Availability"-Bedingungen) ± 5 m horizontal; ± 10 m vertikal (gemittelt über 24 Std.)

Frequenz-Messungen

Eingangsfrequenz:	10MHz ± 70 ppm
Genauigkeit:	$\pm 3 \times 10^{-10}$ bei 2s. Meßzeit $\pm 2 \times 10^{-9}$ bei 0.2s. Meßzeit
Eingangsspannung:	typisch 30mV - 1V

Sonstiges

Antenne:	Doppelhelix; für Außenbetrieb
Abmessungen:	ca. 4cm x 12cm
Frequenzumsetzung:	Antennenkonverter; Umsetzung von 1,57542GHz auf 10,23MHz Kabellänge bis zu 25 m (längere Kabel auf Anfrage)
Abmessungen:	ca. 3cm x 7cm x 17cm (Konverter)
Leistungsaufnahme:	110/220V $\pm 15\%$; 45-60Hz, 45VA
Temperaturbereich:	0°C bis +40°C
Schnittstellen:	RS232 Serienmäßig
Feuchte:	10%-90%, ohne Kondensation
Sicherheit:	Schutzklasse 1, IEC 348
Gewicht:	ca. 5kg
Abmessungen:	285mm x 85mm x 365mm (BxHxT)

Allgemeine Hinweise

Nach dem Auspacken sollte das Gerät auf mechanische Beschädigungen und lose Teile im Innern überprüft werden. Falls ein Transportschaden vorliegt, ist sofort der Lieferant zu informieren. Das Gerät darf dann nicht in Betrieb gesetzt werden.

Sicherheit

Dieses Gerät ist gemäß **VDE 0411 Teil 1, Sicherheitsbestimmungen für elektrische Meß-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte**, gebaut und geprüft und hat das Werk in sicherheitstechnisch einwandfreiem Zustand verlassen. Es entspricht damit auch den Bestimmungen der europäischen Norm EN 61010-1 bzw. der internationalen Norm IEC 1010-1.

Den Bestimmungen der Schutzklasse I entsprechend sind alle Gehäuse- und Chassisteile mit dem Netzschutleiter verbunden.

Das Auftrennen der Schutzkontaktverbindung innerhalb oder außerhalb der Einheit ist unzulässig.

Wenn anzunehmen ist, daß ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist, so ist das Gerät außer Betrieb zu setzen und gegen unabsichtlichen Betrieb zu sichern.

Diese Annahme ist berechtigt,

- wenn das Gerät sichtbare Beschädigungen aufweist,
- wenn das Gerät lose Teile enthält,
- wenn das Gerät nicht mehr arbeitet,
- nach längerer Lagerung unter ungünstigen Verhältnissen (z.B. im Freien oder in feuchten Räumen).

Beim Öffnen oder Schließen des Gehäuses muß das Gerät von allen Spannungsquellen getrennt sein.

Wenn danach eine Messung oder ein Abgleich am geöffneten Gerät unter Spannung unvermeidlich ist, so darf dies nur durch eine Fachkraft geschehen, die mit den damit verbundenen Gefahren vertraut ist.

Verwendete Symbole auf dem Gerät



Achtung - Bedienungsanleitung beachten



Vorsicht Hochspannung



Erdanschluß

Garantie

Jedes Gerät durchläuft vor dem Verlassen der Produktion einen Qualitätstest mit etwa 24stündigem „Burn-in“. Im intermittierenden Betrieb wird dabei fast jeder Frühausfall erkannt. Dennoch ist es möglich, daß ein Bauteil erst nach längerem Betrieb ausfällt. Daher wird auf alle HAMEG-Produkte eine Funktionsgarantie von 2 Jahren gewährt. Voraussetzung ist, daß im Gerät keine Veränderungen vorgenommen wurden.

Für Versendungen per Post, Bahn oder Spedition wird empfohlen, die Originalverpackung aufzubewahren. Transportschäden sind vom Garantieanspruch ausgeschlossen.

Bei Beanstandungen sollte man am Gehäuse des Gerätes einen Zettel mit dem stichwortartig beschriebenen Fehler anbringen. Wenn auf diesem auch der Name bzw. die Telefonnummer des Absenders steht, dient dies der beschleunigten Abwicklung.

Servicehinweise und Wartung

Verschiedene wichtige Eigenschaften der Meßgeräte sollten in gewissen Zeitabständen genau überprüft werden. Dazu dienen die im Funktionstest und Abgleichplan des Manuals gegebenen Hinweise.

Löst man die Schrauben am Gehäuse-Rückdeckel des HM8125 kann der Gehäusemantel nach hinten abgezogen werden.

Beim späteren Schließen des Gerätes ist darauf zu achten, daß sich der Gehäusemantel an allen Seiten richtig unter den Rand des Front- und Rückdeckels schiebt.

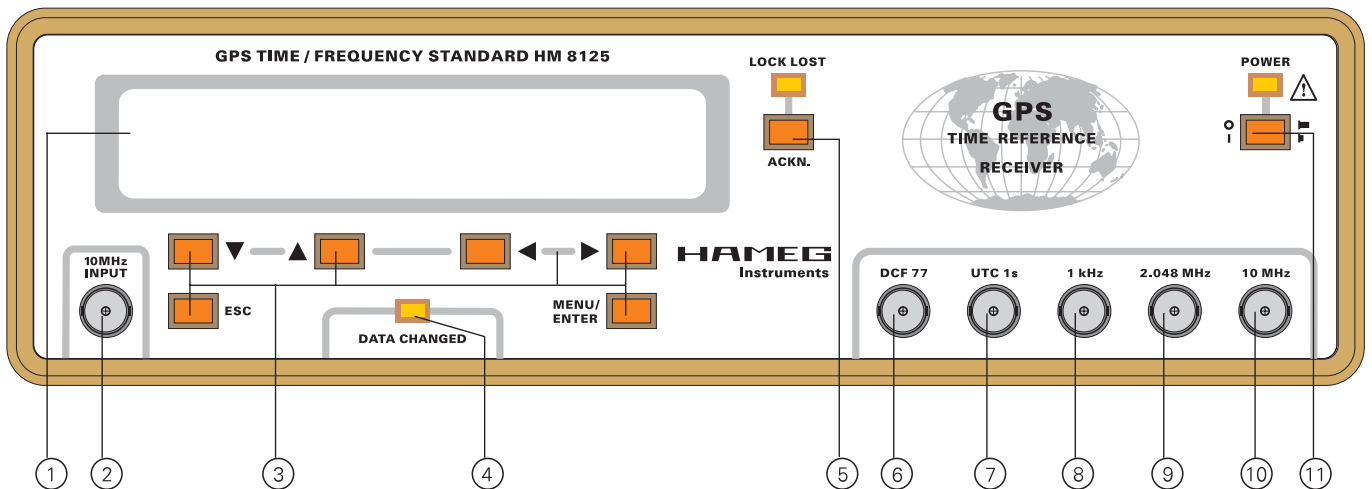
Betriebsbedingungen

Der zulässige Umgebungstemperaturbereich während des Betriebes reicht von +10°C...+40°C. Während der Lagerung oder des Transports darf die Temperatur zwischen -10°C und +70°C betragen. Hat sich während des Transports oder der Lagerung Kondenswasser gebildet, muß das Gerät ca. 2 Stunden aklimatisiert werden, bevor es in Betrieb genommen wird.

Die Geräte sind zum Gebrauch in sauberen, trockenen Räumen bestimmt. Sie dürfen nicht bei besonders großem Staub- bzw. Feuchtigkeitsgehalt der Luft, bei Explosionsgefahr sowie bei aggressiver chemischer Einwirkung betrieben werden.

Die Betriebslage ist beliebig. Eine ausreichende Luftzirkulation (Konvektionskühlung) ist jedoch zu gewährleisten. Bei Dauerbetrieb ist folglich eine horizontale oder schräge Betriebslage (Aufstellbügel) zu bevorzugen.

Bedienungselemente HM8125



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① LCD 2x20 Zeichen ② Eingang für Frequenzmessungen ③ Tasten für Menüsteuerung ④ Data Changed-LED ⑤ "Locklost" LED und "Acknowledge"-Taste ⑥ DCF 77 Ausgang (1s Takt, Rechteck) ⑦ 1PPS Ausgang (UTS oder GPS-zeit) Rechtecksignal ⑧ 1kHz Ausgang (Rechtecksignal) | <ul style="list-style-type: none"> ⑨ 2,048MHz Ausgang Rechtecksignal ⑩ 10MHz Ausgang Rechtecksignal ⑪ Netzschalter (+LED) |
|---|--|

Geräterückseite

- Netzanschluß, Spannungswähler und Sicherung
- Antenneneingang
- Locklost Relais-Ausgang

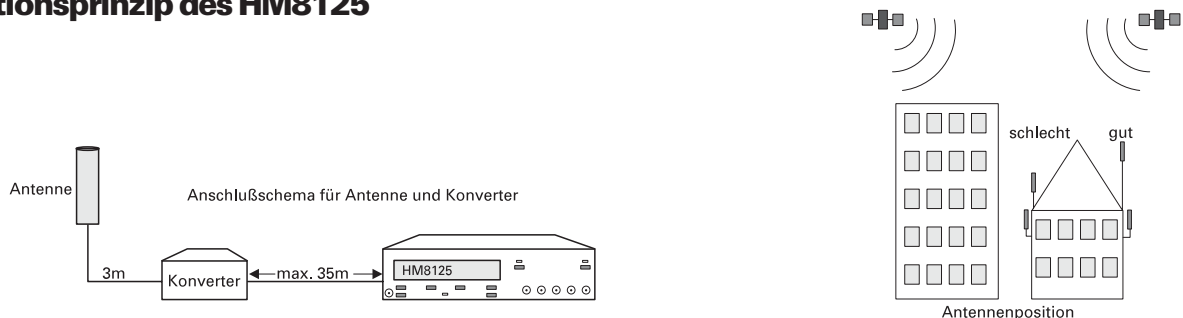
Lieferumfang

Die Inbetriebnahme des HM8125 erfordert die sorgfältige Installation der Antenne und den korrekten Anschluß des mitgelieferten Antennenconverters.

Zum Lieferumfang des HM8125 gehören folgende Teile

- A ein Steuergerät HM8125
- B ein Frequenzkonverter
- C eine Antenne
- D ein Anschlußkabel von Antenne zum Konverter (N- auf SMA-Verbinder), ca. 3m lang
- E ein Adapterkabel (SMA auf BNC) zwischen Konverter und BNC-Kabel zum Steuergerät
- F Manual, Netzkabel, Software für RS232-Schnittstelle

Funktionsprinzip des HM8125



Wichtiger Hinweis!

Das im Folgenden beschriebene Instrument ist ein elektrisches Gerät und darf als solches nur von geschultem Personal bedient werden. Wartung und Reparatur dürfen ebenfalls nur von Fachleuten vorgenommen werden.

Bei Korrespondenz bezüglich dieses Instrumentes bitte die Typennummer und die Seriennummer auf dem Typenschild angeben.

Der HM8125 ist ein Zeit- und Frequenznormal zur Generierung hochpräziser Zeitmarken und Frequenzen sowie zur Bereitstellung hochgenauer Positionierungsdaten. Die Genauigkeit basiert auf dem NAVSTAR Global Positioning System (GPS), entwickelt und betrieben vom US Department of Defense. Das System besteht aus 24 Satelliten, deren Cäsium-Normale die erzielbare Genauigkeit garantieren. Die Satellitensignale werden weltweit übertragen.

Aus den übertragenen Satellitensignalen errechnet der HM8125 seinen aktuellen Standort. Sobald dieser gefunden ist, beginnt die Ankoppelung der internen Oszillatoren an die "Zeitbasis" des GPS-Systems.

Installation

Das Steuergerät HM8125 wird in einem (möglichst) konstant klimatisiertem Raum installiert und mit der Netzspannungsversorgung verbunden. Das mitgelieferte BNC-BNC Kabel (Länge 15m) wird an den rückseitigen Antenneneingang am HM8125 angeschlossen. Die Kabellänge zwischen HM8125 und dem Antennenkonverter kann bis zu max. 40m erweitert werden. In Fällen, wo dies nicht ausreicht, ist bei Verwendung eines entsprechenden Vorverstärkers (Option) eine Kabellänge bis zu 200m möglich. Über eine BNC-Kupplung wird das BNC-Kabel mit dem Adapterkabel (BNC auf SMA) zum Antennenkonverter verbunden. Die Antenne wird über das mitgelieferte N- auf SMA-Verbindungskabel an den Konverter angeschlossen.

Die Installation der Antenne muß so erfolgen, daß in horizontaler Ebene ein Sichtbereich von ca. 180° ohne störende Bebauung gewährleistet ist. Nur so ist ein optimaler Betrieb des HM8125 gegeben. Die Antenne muß auf jeden Fall senkrecht justiert werden und sollte möglichst an einem Mast befestigt sein. Der Antennenkonverter wird bedingt durch die Kabellänge in max. 3m Abstand von der Antenne installiert. Die Stromversorgung geschieht über das Verbindungskabel zum Steuergerät. Trotz witterungsbeständiger Kapselung sollte der Antennenkonverter nach Möglichkeit innerhalb eines Gebäudes oder geschlossenen Raumes installiert werden.

Allgemeines

Im Allgemeinen sind bei optimaler Antennenaufstellung ca. 7-8 Satelliten gleichzeitig "sichtbar". Zur genauen Positionsbestimmung werden vom HM8125 4 Satelliten benötigt. Bei der Fertigung und anschließenden Überprüfung des HM8125 wird dem Gerät ein geodätischer Ort mitgeteilt, an dem es sich zum Zeitpunkt der Endprüfung befindet. Dieser Ort wird vom Gerät ebenfalls bei der Inbetriebnahme beim Kunden vermutet. Dies ist jedoch in der Regel auch nicht annähernd der Fall. Daher kann es bei der Erstinstallation beim Kunden bis zu 30 min. dauern, bis das Gerät seinen neuen geodätischen Ort gefunden hat. Diese Zeit ist stark davon ab-

hängig, wie gut die "Sicht" auf die Satelliten ist. Das Verfahren läßt sich durch Eingabe von annähernd korrekten Positionskordinaten verkürzen ($\pm 5^\circ$), wenn diese zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme bekannt sind.

Erste Inbetriebnahme

Die folgenden Hinweise sind gedacht um den HM 8125 möglichst schnell in Betrieb nehmen zu können. Dabei wird davon ausgegangen, daß Antenne und Konverter sowie die Verkabelung korrekt installiert sind.

Beim Burn-in in der Fabrik wird der HM 8125 mit einem geographischem Ort programmiert, welcher der Position der Fertigungsstätte entspricht. Dieser ist im Allgemeinen verschieden von dem Ort, an dem das Gerät anschließend in Betrieb genommen wird. Um eine möglichst schnelle Einstellung des Gerätes auf seinen neuen geographischen Ort vorzunehmen, wird der programmierte Ort (Initial Position) durch den neuen aktuellen Ort ersetzt. Dazu sollte die geographische Lage des Ortes der Inbetriebnahme auf einige Grad genau bekannt sein. Eine Toleranz von 5 Grad wird ohne Probleme vom Gerät akzeptiert.

Beim Einschalten des HM 8125 erscheint das Hauptmenü.

```
HM8125  GPS STANDARD
TIME FREQ RECVR STAT
```

Hieraus wird das "RECEIVER"-Menü mit der darunter liegenden Taste aktiviert.

```
RECEIVER:
TRACK USE POS
```

Anschließend erhält man über "USE" die folgende Meldung:

```
USE entered position
(using inital pos)
```

Da das Gerät zur Ermittlung und anschließenden Mittelung der aktuellen Position mindestens 4 Satelliten benötigt, sollte man zur ersten Inbetriebnahme eine Position vorgeben. Dazu wird 2mal die Taste ▲ betätigt. Der HM 8125 zeigt dann folgende Meldung:

```
USE averag'd position
(using inital pos)
```

Diese Meldung muß noch mit "Enter" bestätigt werden.

```
USE entered position
(not yet verified!)
```

Die folgende Meldung bestätigt diese Eingabe. Dieses Menü kann nun über "ESC" verlassen werden. Im "RECEIVER" - Menü, welches jetzt wieder erscheint wird nun über die Taste "POS" eine neue Anzeige aufgerufen:

```
entered: 50° 05.329' N
0122m 008° 38.768' E
```

Standort Frankfurt/M

Die oben dargestellte Meldung erhält man nach 2maligem Drücken der Taste ▲.

Mittels der "Links/Rechts" -Tasten wird der Cursor unter die zu ändernde Ziffer gestellt und diese dann mittels ▲▼ geändert. Auf diese Weise wird Ziffer um Ziffer den aktuellen Verhältnissen entsprechend geändert. Ist die aktuelle Position eingegeben, so ist der Vorgang mit "Enter" abzuschließen. Bei richtiger Installation der Antenne sollte der HM 8125 jetzt innerhalb weniger Minuten seine Position finden.

Sobald der HM8125 am jeweiligen Einsatzort konfiguriert ist, beschränkt sich die Bedienung meist auf die Überwachung der ordnungsgemäßen Funktion. Eine mitgelieferte Software ermöglicht die Überwachung des Gerätes mittels der eingebauten RS232-Schnittstelle.

Bedienung

Zur Bedienung des HM8125 stehen verschiedene über ein einfach zu bedienendes Menü zugängliche Befehle zur Verfügung. Alle Befehle sind in verschiedene Menü-Ebenen eingebettet, welche sich auf einfache Weise über die 4 Cursortasten (◀ left/right ▶ ▲ up/down ▼) erreichen lassen. Die 4 Pfeiltasten wählen, falls ein Menü angezeigt wird, den darüberstehenden Menü-Eintrag. Die vier Hauptmenü-Einträge bezeichnen Untermenüs, deren Einträge auf Funktionen, Anzeigen etc. führen. Eingaben oder Daten, die geändert werden können oder sollen, werden mittels eines Cursors unterstrichen und können dann in der jeweiligen Position geändert werden.

Nach dem Einschalten erscheint das Hauptmenü; die Lock-Lost-LED blinkt. Sie wird dann, wenn alle (internen) Oszillatoren gerastet sind (Lock ok), permanent leuchten und kann nur in dieser Betriebsart durch Drücken der **ACKN**-Taste zurückgesetzt werden.

Beim Einschalten lassen sich durch gleichzeitiges Drücken verschiedener Tasten bestimmte Anfangszustände vorgeben. Einschalten, während "▼" und "▶" gedrückt sind, löscht bzw. initialisiert den gesamten Speicher. "▼" alleine löscht nur den Almanach; "▶" alleine nur die Ephemeriden.

Solange im Hauptmenü die **ESC**-Taste gedrückt gehalten wird, wird die Versions-Bezeichnung der Software und evtl. später auch eine von der Software erkannte Hardware-Option (Rubidium) angezeigt.

```
HAM_33_T 970305.01
(no options)
```

Solange im Hauptmenü die **MENU/ENTER**-Taste gedrückt gehalten wird, werden Kontrast- und Beleuchtungs-Stärke angezeigt. Änderungen sind mit den Pfeiltasten (bei gedrückter **MENU/ENTER**-Taste) möglich.

```
SET contrast = 5
backlight = 3
```

Die LCD Hintergrundbeleuchtung "Backlight" läßt sich in 3 Stufen einstellen. Der Kontrast ist prinzipiell in 7 Stufen einstellbar, von denen im praktischen Betrieb der Bereich Stufe 4 bis 7 nutzbar ist. Änderungen wie z.B. Helligkeit und Kontrast werden unmittelbar wirksam. Andere Eingaben, die den Betrieb des Empfängers und/oder einen Signal-Ausgang betreffen, werden zunächst nur in einem Puffer abgelegt, aber noch nicht gleich wirksam. Es leuchtet dann die **'Data Changed'** LED.

Falls **'Data Changed'** nicht leuchtet, führt die **MENU/ENTER**-Taste immer ins Hauptmenü zurück, die **ESC**-Taste führt nur um jeweils einen Schritt im Menü zurück.

Falls die **"Data Changed"** LED leuchtet, werden mit **MENU/ENTER** die geänderten (und in dem Moment angezeigten) Daten übernommen. Mit **"ESC"** werden sie verworfen und wieder die ursprünglichen Daten angezeigt. In beiden Fällen erlischt die LED und das Menü wird nicht verlassen (erst bei erneutem Drücken von **MENU/ENTER** oder **ESC**)!

Einige Angaben (z.B. in **USE** oder **TRACK**) stellen zunächst nur eine Aufforderung dar bzw. zeigen den aktuellen Zustand an. Es werden dann entsprechende Kommentare oder Warnungen ausgegeben.

Lock Lost

Falls der HM8125 "annimmt", eines der Ausgangssignale (DCF77, 1pps, 10MHz, 2.048MHz, 1kHz) sei unsicher (Grenze dafür sind 50ns Zeit- bzw. 5×10^{-10} Frequenzfehler des 10MHz-Oszillators), so blinkt die **"Lock Lost"** LED.

Dies ist auch der Fall bei der Erstinstallation oder falls im normalen Betrieb durch "ungünstige Sicht" z.B. bei atmosphärischen Störungen oder Bebauung, mehrere Satelliten "verloren" gehen. **"Lock Lost"** bedeutet nicht, daß die generierten Frequenzen nicht mehr erzeugt werden, sondern heißt nur, daß die normalerweise erzielte Präzision zu diesem Zeitpunkt nicht gewährleistet ist. Im Allgemeinen ist dieser Zustand nur kurzfristig. Die Rückkehr zum Normalbetrieb geschieht in aller Regel kurzfristig. Nach Wiederherstellung der "Rastung" leuchtet die

“**Lock Lost**“ LED weiterhin und muß explizit durch Drücken der “**ACKN**“-Taste zurückgesetzt werden. Dadurch bleibt auch nach erfolgter Wiederherstellung der Rastung ein Hinweis auf einen “Satellitenverlust“.

Auf der Rückseite des Gerätes befindet sich eine BNC-Buchse die mit einem Relaiskontakt gekoppelt ist. Der Relaiskontakt ist geöffnet bei korrekter Ankoppelung des HM8125 an das Satellitensignal. Bei Verlust der Rastung - auch kurzfristig - wird der Kontakt geschlossen.

Im ausgeschalteten Zustand (HM8125) ist der Relaiskontakt ebenfalls geschlossen, was auch einer Lock-Lost Meldung entspricht.

Solange die “**ACKN**“-Taste gedrückt gehalten wird, ist (auch bei gelöschter LED) in der oberen Zeile das letzte Ereignis benannt, das für den Lock-Zustand von Bedeutung war. Es kann, muß aber nicht zum Lock-Verlust geführt haben. In der unteren Zeile wird der aktuelle Lock-Zustand benannt. Bei Loslassen der Taste erscheint wieder die alte Anzeige.

Diverse Bereichsüberschreitungen im Empfänger, die bei interner Selbstüberprüfung festgestellt werden können, liefern Warnungen mit einem knappen Text. Diese Warnungen können nur durch die **ESC**-Taste gelöscht werden. Das drücken irgendeiner anderen Taste hat keine Wirkung und es erscheint die Anzeige, die vor der Warnung dargestellt war.

Menü-Struktur

Hauptmenü	Untermenüs			
TIME	LOCAL	DST	UTC	1PPS
FREQ	OLTY	MEAS		
RECVR	TRACK	USE	POS	
STAT	ORBIT	ACC	LIST	LOCK

Die Untermenüs sind über die Cursor-Tasten erreichbar. Das Verlassen eines Untermenüs geschieht durch die **ESC** oder **MENU**-Taste. In den meisten Untermenüs sind Änderungen und Eingaben möglich.

Beschreibung der Untermenüs

Time

```

TIME:
LOCAL DST UTC 1PPS

```

LOCAL

Datum (J.M.D) Zeit (STD/MIN/SEK)
MJD Wtg UTC Zone S z.B. 'Sommerzeit'-Indikator ('Saving time')

MJD=Modifiziertes Julianisches Datum. Ist per Defi-

nition immer in UTC; alle anderen Angaben beschreiben die Lokalzeit, für die neben UTC+Offset auch die GPS-Zeit gewählt werden kann.

```

1996-JUN-11 07:06
50254 TUE UTC-2h S

```

Solange kein Satellit empfangen wird (erkennbar am Fehlen der Sekunden), ist dies ein Editor zum Einstellen der Zeit, die hier als Lokalzeit formuliert ist, aus der aber der Empfänger intern die GPS-Zeit rekonstruieren muß. Zeit & Zone müssen daher zueinander passend angegeben werden.

Nachdem der Empfänger (vom 1. Satelliten) die Zeit bestimmt hat (erkennbar an laufenden Sekunden), ist nur noch die Zeitzone änderbar, für die die Lokalzeit angezeigt wird. Die intern verwendete (GPS-)Zeit kann dann nicht mehr beeinflußt werden.

MJD, Wochentag und Sommer/Winterzeit können nicht eingestellt werden, sondern ergeben sich stets aus den übrigen Angaben.

DST (Daylight SavingTime)

Achtung!
Änderungen der aktuellen Zeitzone im LOCAL Mode (die je nach DST-Parametern und Datum als die Sommer- oder Winter-Zeitzone (SZ-Zone - 1h) interpretiert wird) hat Auswirkungen auch auf DST.

```

UTC-2h: last Sun Mar
        until Last Sun Sep

```

Beginn und Ende sind frei wählbar. Es werden die Wochenenden, an denen die Sommerzeit beginnt und endet, sowie den Offset der Sommerzeit zu UTC benannt. Als Winterzeit-Offset wird stets (Sommerzeit-Offset - 1h) verwendet.

Achtung!
Änderungen hier können zur Änderung der in LOCAL verwendeten Zeitzone und der Zeit-Darstellung im DCF77-Takt führen.

UTC

```

UTC=GPS - (11s + 49ns)
          + 2ns/d

```

UTC=GPS-(LS+Stand) +Gang

Hier erfolgt die Anzeige der Relation von GPS-Time ↔ UTC(USNO).

LS=Zahl der Schaltsekunden ('Leap Seconds')
Stand=Abstand von Sekundenmarken(GPS) und
Sekundenmarken(UTC);
Gang=zeitliche Änderung des Standes ($1\text{ns/d} \sim 1^{-14}$).

Falls die Daten nicht bekannt sind, stehen überall '?'.
Daten die aus dem gepufferten Speicher stammen,
werden im Display mit Sat 'old data' angezeigt.

1PPS

```
1PPS: UTC delayed
      by 000000000 ns
```

(Status)
Skala+Delay

Die "Skala" kann UTC oder GPS sein. Beide unterscheiden sich nur um wenige ns (angezeigt in UTC).

Der an der Buchse ausgegebene 1pps kann gegenüber der angegebenen Skala um $\pm 0,5\text{s}$ verschoben werden; die Auflösung ist 1ns. Änderungen führen im Allgemeinen zu vorübergehendem Lock-Verlust, da der Referenz-Oszillator auf die neue Phase 'geschoben' werden oder zumindest der 1pps-Teiler neu synchronisiert werden muß (dies wird in der oberen Zeile des Displays angedeutet).

FREQ

```
FREQUENCY:
QLTY MEAS
```

QLTY

```
QLTY:  $\delta t =$       ? ns
       $\delta f / f =$  ? E-10
```

$\delta t =$...ns
 $\delta f =$...E-10

Ist die Anzeige des Regelfehlers : Der Abweichungen von Zeit und Frequenz der (z.B. SA-gestörten Satelliten) scheinbaren GPS-Zeit (oder deren Umrechnung auf UTC), auf die der 10MHz-Oszillator geregelt werden soll.

MEAS (Meßeingangsfunktion)

```
MEAS:      gate = 2s
-- unlocked --
```

gate=..
10MHz + ...ppm

Die Wahl der Auflösung (1×10^{-9} oder 1×10^{-10} und der Darstellung ('MHz' oder Abweichung von 10MHz in

'ppm' oder 'ppb') für die Messung.
Meßbereich: $10\text{MHz} \pm 70\text{ppm}$ ($\sim 0,7\text{kHz}$)
Extra Meldung (untere Zeile) bei nicht gelockten 10MHz oder bei fehlendem Eingangssignal.

RECVR

```
RECEIVER:
TRACK USE POS
```

TRACK

```
TRACK all in view: 8
chang'd:0/8 sats used
```

```
TRACK all w/o SA: 0
chang'd:0/8 sats used
```

Auswahl des/der Satelliten, die verfolgt und ausgewertet werden sollen:

all in view - alle sichtbaren /erkennbaren Satelliten (wird beim Einschalten automatisch eingestellt),

all w/o SA - alle SA-freien (SA-Selective Availability) In der unteren Zeile erfolgt die Anzeige, wieviele (von gemäß Zeit, Ort und Auswahlkriterium zu erwartenden) Satelliten verfolgt werden.

USE

```
USE entered position
(not yet verified!)
```

Dieser Modus wird beim Einschalten mit 'initial' POS initialisiert.

USE erlaubt die Auswahl der zu benutzenden Orts-Variante. Ausgehend von deren Koordinaten werden Tracking-Vorhersagen berechnet. Der Wunsch, es möge ein unplausibler Ort verwendet werden, (z.B. eine fehlerhaft eingegebenen 'entered' oder eine von früher 'übriggebliebene' initial' POS) wird mit einer Warnung abgelehnt und der HM8125 verwendet den Ort, der nach seiner internen Kenntnis der bisher zuverlässigste ist.

POS

```
entered: 50° 05.329' N
0122m 008° 38.768' E
```

Ist die Anzeige der verschiedenen Positions-Varianten (Lat, Lon, Höhe über NN und Höhe über Geoid). (Die Auswahl, welche Variante zu benutzen ist, erfolgt im Menü **USE**).

Beim Einschalten werden alle Varianten mit dem Ort initialisiert, der zuletzt verwendet wurde unabhängig

davon, welche Variante (**initial, entered, averaged**) das war.

Nur die '**entered**' Position ist in diesem Menü änderbar. Falls noch kein Ort berechnet werden konnte, werden Änderungen auch in die '**updated**' und '**averaged**' Position übertragen.

Die Mittelung der 'averaged' POS arbeitet unabhängig.

Der Ausgangspunkt für Rechnungen (Vorhersage der zu erwartenden Meßergebnisse und Berechnung von Korrekturen aus deren Abweichung von den tatsächlichen Meßergebnissen) ist jeweils der in **USE** zur Benutzung gewählte Ort.

STAT

```
STATUS :
ORBIT ACC LIST LOCK
```

ORBIT

```
Sat01 E1= 1° Az=225°
3 SN= ? URA= ?
```

Angezeigt werden:

Die Nummer des Satelliten und seine Elevation, der Azimut, die Rauschleistung, S/N (Signal/Rausch-Verhältnis) und URA (User Range Accuracy).

ACC

```
ACC: SA=off,0/6 sats
POS=entered
```

Ist die Angabe über die verwendeten Satelliten (SA, Anzahl, Position)

LIST

```
LIST: 0220312-2----0
001000202112000-0-
```

Diese Aufstellung aller vorhandenen Satelliten zeigt für jeden Satelliten einen Charakter, der als ASCII-HEX-Darstellung von 4 Bit zu interpretieren ist:

LSBIT=Bit0=1: Satelliten ist ok und über dem Horizont.
Elevation >10°
(unter 10° wird maskiert)

Bit1=1: Bahndaten bekannt

Bit2=1: alle Info für "lock" bekannt

Bit3=1: Sat ist bekannt und "gelockt"

Blank: keine neuen Erkenntnisse mangels "Lock"

LOCK

```
LOCK: 10.00=?? (int)
10.23=?? 2.048=??
```

Dient zur Schnellübersicht über den Zustand der diversen internen Regelkreise. '10.00 bad' und/oder '10.23 bad' bedeutet das interne Referenzoszillatoren nicht gerastet werden können. (Ableich Fehler) '2.048 bad' schließt zwar das Relais und läßt die LED blinken, den GPS-Betrieb aber stört das nicht.

Ergänzende Informationen zu den in den Menüs verwendeten Daten

Daten, die im gepufferten RAM gehalten werden und beim (Wieder)-Einschalten des Gerätes benutzt werden, können durch Einschalten bei gedrückter ▼ und ► -Taste gelöscht bzw. auf Default-Werte gesetzt werden):

MENUE/ENTER: Kontrast/Beleuchtung

LOCAL: Uhrzeit/Datum und Zeitzone

DST: Zone, erster und letzter Tag

1PPS: Delay und Zeitskala (GPS oder UTC)

UTC: Zahl der Schaltsekunden sowie Stand/Gang

MEAS: Gate-Zeit und Darstellung

USE/POS: Koordinaten des zuletzt verwendete Ortes

Daten, die beim Einschalten (un)abhängig von früheren Einstellungen initialisiert werden:

LOCAL: Datum/Uhrzeit werden der laufenden Uhr entnommen

TRACK: 'all in view' suchen/verfolgen

POS/USE: alle Varianten werden mit den in dem gepufferten Speicher entnommenen Koordinaten initialisiert

USE: "initial" Position wird verwendet

Automatisch werden vom HM8125 regelmäßig aufgefrischt:

- die Liste der verfügbaren Satelliten, SA-Aktivierung
- die Bahndaten (grob - 'Almanach' und fein - 'Ephemeriden')
- die Relation UTC ↔ GPS (Schaltsekunden, Stand, Gang)
- die 'updated' und 'averaged' POS: Länge/Breite/Höhe Stand/Gang des (10.23MHz-)Oszillators

Gerätemeldungen

Die "Warning" Meldung kann nur mit der ESC-Taste gelöscht werden. Sie muß so lange gedrückt werden bis das ursprüngliche "MENUE" erreicht ist.

```
WARNING: noise low →
check antenna cable
```

WARNING: can't find any satellites

position changed: for a 1st satellite

Diese Meldungen erscheinen bei einem Lock-Verlust oder bei Betätigung der "ACKN" -Taste.

FEHLER MÖGLICHKEITEN

gepufferte Daten verloren	werden neu erstellt
zu wenig Signal	Antennenkabel/Konverter?
zu großer Offset am ADC findet keine Satelliten findet nicht genug Satelliten	abhängig von LOCAL und POS/USE abhängig von POS/USE
UTC ↔ GPS: Daten zu alt!	Verlassen des POS-Editors bei veränderten Koordinaten

Xtal offset large? check pos.!	Pos. noch unbekannt;
Xtal offset large? adjust Ctrim	Pos. ist bekannt; Quarzfehler ist wirklich zu groß; 10,00 und/oder 10,23 nachstellen
can't find any satellites	Installation überprüfen Notfalls Service
can't find enough sat.	aber mindestens einen
buffered memory/ clock lost	EPROM wurde gewechselt
chosen sats lost all in view	(bei TRACK w/o SA bei Untergang des letzten Sat'n) ohne SA
osc. control voltage large adjust	10MHz nachstellen
UTC vs. GPS: data too old!	EPROM wurde gewechselt
entered pos is not verified!	Bei Benutzung der entered position mit weniger als 4 Satelliten
pos. bad! proper pos. unknown	bei unbekanntem Ort-2 oder mehr inkonsistente Satelliten gemessen

Lock-Lost-Meldungen bei gedrückter ACKN.-Taste

'position changed: searching for a 1st satellite'	d.h. noch alles unbekannt
'wait: searching for more satellites' 'pos. found! searching for more satellites'	d.h. mind. Uhrzeit bekannt
'Lock proc. started (re)approaching Lock'	d.h. Lock-Versuch hat begonnen
'Lock proc. started:' '- locked -'	nach Änderungen in 1PPS
'UTC vs. GPS changed'	nach Lesen relevanter Satelliten-Daten
'position changed'	nach Änderungen in POS/USE
'10.00MHz Lock lost' (re)approaching Lock	z.B. durch plötzlichen Temperaturwechsel
'10MHz Lock lost' '- locked -'	Oszillator eingeregelt
'2.048MHz Lock lost' (re)approaching Code	meistens: 8.192MHz-Oszillator falsch justiert
'2.048MHz Lock lost' '- locked -'	Oszillator eingeregelt

Es sind weitere Meldungen möglich, die jedoch für den Normalbetrieb keine weitere Bedeutung haben.

ADC offset large needs service	Hardware-Fehler Vorgegebene Position nicht plausibel (...=initial/enterde/averaged)
pos bad using	Gerät vermutet falsche Position Antenneninstallation überprüfen
downed sat. found Noise low, check pos. check antenna cable	

Aussendung der seriellen Schnittstelle

Zur Protokollierung der ordnungsgemäßen Anbindung des HM8125 an das GPS System besitzt das Gerät eine serielle Schnittstelle. Hardwaremäßig ist sie als 9polige Sub-D Buchse (female) ausgeführt. Als Verbindung zum protokollierenden Rechner dient ein Standard RS232-Kabel. (RX/TX, RTS u. CTS sind 1:1 verbunden).

Die serielle Schnittstelle sendet alle 30min. und bei jedem Wechsel im Lockstatus die Informationen Datum und Zeit sowie Angaben über die zwischen den einzelnen Meßintervallen aufgetretenen Abweichungen. Die mitgelieferte Software GPS-PRO2.EXE ermöglicht die Einstellung der Schnittstellendaten. Defaultmäßig ist im HM8125 eine Datenübertragungsrate von 9600 Baud eingestellt. Diese läßt sich intern durch umstecken zweier Steckverbindung ändern.

Die Software für die Protokollierung der GPS-Daten des HM8125 befindet sich auf einer Diskette im Lieferumfang des Gerätes.

Die Installation erfolgt durch einfaches Kopieren auf die Festplatte. Das Programm kann aber ebenso von der Diskette gestartet werden. Es empfiehlt sich auf jeden Fall eine Sicherungskopie.

Das Programm wird durch Eingabe des Filenamens **GPS_PRO2.EXE** gestartet. Es muß dann die Eingabe der seriellen Schnittstelle z.B. COM2 und die Eingabe der Baudrate, z.B. 9600 (default), erfolgen. Die **GPS_READ.ME2** Datei gibt einige weitere Hinweise.

Das Programm gibt alle 30min. und bei einer Störung die relevanten Daten des Gerätezustandes aus. Zur Beginn des Programmes kann die erste Meldung bis zu 30 Minuten dauern.

Das Protokoll sieht wie folgt aus:

\$PUTC,96-03-08,12:11:04,1,+5E-10,-6E-10,+1E-10,+1ns,-1ns,+0ns

\$PUTC gibt an, daß es sich bei der angegebenen Zeit um die UTC-Zeit handelt. Datum und Zeit werden dementsprechend angegeben und entsprechen nicht immer der Localtime. Die folgende Ziffer bedeutet bei **"1"**, daß das Gerät sich in gelocktem Zustand befindet. Eine **"0"** kennzeichnet den nicht gelockten Zustand und eine **"2"** bedeutet, daß der 10MHz Oszillator gelockt ist, intern aber ein anderer Oszillator nicht im gerasteten Zustand schwingt. Das 10MHz Ausgangssignal ist jedoch trotzdem stabil.

Die folgenden Angaben bedeuten:

- +5E-10 Maximalwert der positiven Frequenzabweichung seit der letzten Aussendung
- 6E-10 Maximalwert der negativen Frequenzabweichung seit der letzten Aussendung
- 1E-10 Varianz der Frequenzabweichung seit der letzten Aussendung
- +1ns Maximalwert der positiven Zeitabweichung seit der letzten Aussendung
- 1ns Maximalwert der negativen Zeitabweichung seit der letzten Aussendung
- 0ns Varianz der Zeitabweichung seit der letzten Aussendung

Bemerkungen zum DCF77-Kode

Die DCF77-Sekundenmarken sind genau wie der 1pps, also im Sat-Mix typ. +/-50ns. Die Pulslänge von nominell 100ms oder 200ms ist nicht ganz so präzise. Sie stimmt auf etwa +/- 550 µs.

Diese Sekundenmarken werden durch die Delay-Wahl im Menü **PPS** auch genauso in ihrer zeitlichen Lage verschoben wie der 1pps. Die Länge der DCF-Pulse wird dabei passend zu derjenigen (UTC-)Sekunde erzeugt, zu der die ausgegebene Sekundenmarke verfrüht oder verspätet ist.

Im Extremfall bedeutet das, daß zwei Empfänger, deren einer auf +0.5s und deren anderer auf -0.5s Delay gestellt ist, zwar (bis auf minimale Gleichlaufschwankungen) gleichzeitig ihre 1pps- und DCF-Sekundenmarken erzeugen werden, daß ihre gleichzeitig beginnenden DCF-Pulse aber verschieden lang sind.

Der Empfänger mit +0.5s Delay wird stets diejenige Pulslänge ausgeben, die der andere Empfänger (mit -0.5s Delay) eine Sekunde zuvor ausgegeben hat. Beide Codes beschreiben tatsächlich die(selbe) UTC-Sekunde, die genau in der Mitte zwischen den beiden jeweils gleich langen Pulsen liegt. Nur beschreibt der eine Empfänger jede Sekunde mit einer halben Sekunde Verspätung, die der andere bereits eine halbe Sekunde im Voraus bezeichnet hatte.

Verwendung von GPS-Empfängern zur Frequenz- und Zeitbestimmung

GPS-Empfänger sind zwar erheblich komplexere Geräte als andere Zeitzeichen-Empfänger, sie werden in absehbarer Zeit kaum noch teurer sein als bislang auf Quarz- oder Rubidium-Oszillatoren basierende Referenznormale, da die vielseitige Verwendbarkeit der GPS-Empfänger künftig eine preiswerte Großserienproduktion der eigentlichen GPS-Empfangeinheit ermöglicht. Der folgende Abschnitt beschreibt Unterschiede zwischen verschiedenen Empfängerkonzepten, insbesondere die Vorteile der Trägerphasen-Messung (wie im HM8125 verwendet) für die schnelle Erkennung und Ausregelung von Frequenzschwankungen.

Funktionsprinzip des GPS-Systems

Das "Global Positioning System" (GPS) ist ein satellitengestütztes Navigationssystem, welches neben einer Ortsbestimmung auch eine sehr genaue Zeitbestimmung sowie das genaue Messen bzw. Erzeugen von Normalfrequenzen ermöglicht. Das Navigationsverfahren beruht auf einer Bestimmung der Abstände des Empfängers zu verschiedenen Satelliten. Dazu werden die Laufzeiten der von diesen Satelliten abgestrahlten Signale gemessen. Aus ihnen lassen sich dann unter Verwendung der Bahndaten der Satelliten der Empfangsort sowie der Stand der Empfängeruhr bestimmen. Entsprechend läßt sich aus den Änderungsraten der Laufzeiten die Geschwindigkeit des Empfängers sowie der Gang der Empfängeruhr bestimmen. Die Bereitstellung der für die Rechnungen benötigten Daten ist Aufgabe einer Reihe von Bodenstationen. Diese ermitteln aus ihren Laufzeit-Messungen die Bahndaten sowie andere Werte und senden sie auf einem Telemetrikkanal an die Satelliten, die sie dann wiederum an die Empfänger senden. Für eine dreidimensionale Positionsbestimmung benötigt man die Laufzeiten von vier verschiedenen Satelliten: drei zur Bestimmung der gesuchten Ortskoordinaten und einen vierten zur Bestimmung des zunächst unbekanntem Standort der Empfängeruhr. Für einen reinen Zeit-Empfänger, der an einem bekannten Ort steht, reicht dagegen im Prinzip schon der Empfang eines einzelnen Satelliten aus. Der Empfang mehrerer Satelliten ermöglicht aber eine deutliche Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Konsistenzprüfungen. Da ständig mindestens fünf Satelliten über dem Horizont sind, ist für die Zeitbestimmung ein hohes Maß an Redundanz gegeben. Ferner kann man durch Mittelung über die Meßergebnisse von mehreren Satelliten den Einfluß der "Selective Availability" (s.u.) mindern. Die genannten Laufzeitmessungen werden in einem Korrelationsverfahren durchgeführt: Der vom Satelliten abgestrahlte Träger (1.575GHz) ist mit einem für den jeweiligen Satelliten charakteristischen Pseudo-Rausch-Code vom 1023 Bit Länge und, 1ms Dauer moduliert. Der Anfang dieser Code-Sequenz fällt mit der ganzen Millisekunde der Satellitenuhr zusammen. Durch Korrelation des Antennensignals mit einem im Empfän-

ger erzeugten gleichartigen Code läßt sich die Code-Phase bei Ankunft des Signals an der Antenne bestimmen. Die verbleibende Unsicherheit über die ganze Zahl der Millisekunden für die Laufzeit wird durch die Auswertung des 50-Baud-Datenstroms aufgehoben.

Erreichbare Genauigkeit für reine C/A-Code-Empfänger

Die Korrelationsfunktion ist ein Dreieck mit einer Breite von etwa $1\mu\text{s}$. Außerhalb dieses Dreiecks verschwindet das Korrelationssignal. Bei einem typischen Signal/Rausch-Verhältnis läßt sich die Mitte des Dreiecks in 1s auf etwa 10ns, also 1% der Breite auflösen. Abbildung 1 zeigt dazu eine Meßreihe (gepunktete Kurve), in der die Differenz zwischen der nach den Bahndaten erwarteten und der vom Empfänger gemessenen Laufzeit dargestellt ist. Diese Differenz ist gerade der Wert, den der Empfänger für den Stand seiner Uhr gegenüber der GPS-Systemzeit ermittelt. Tatsächlich war die Empfängeruhr auf eine Atomuhr synchronisiert, so daß der Gang zunächst Null war. Dieser wurde dann definiert um etwa 12×10^{-9} geändert, woraufhin der Stand stetig anwuchs, bis der Gang nach etwa 20s wieder zurückgesetzt wurde.

Für eine Frequenzbestimmung aus zwei aufeinanderfolgenden unabhängigen Messungen der Code-Phase mit 1s Abstand erreicht man damit eine Genauigkeit von 10^{-8} . Dies ist zugleich die Genauigkeit, mit der ein reiner C/A-Code-Empfänger einen Oszillator in 1s auf seine Nennfrequenz regeln kann.

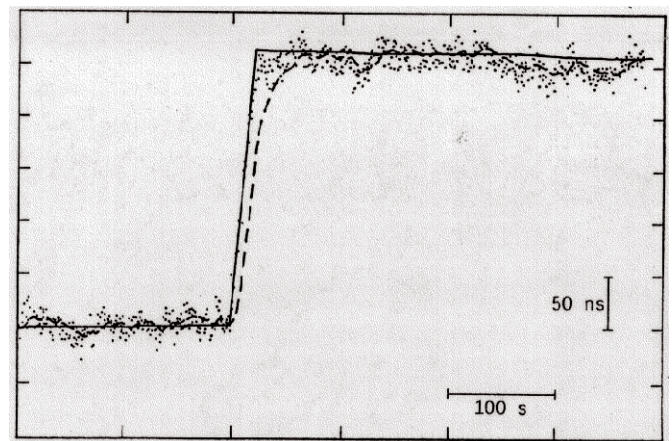


Abb. 1 Gemessener Stand der Empfängeruhr gegenüber der GPS-Systemzeit. C/A-Code; Code gemittelt ---; mit Trägerphase —

Da die erreichbare Genauigkeit durch das Empfangs-Rauschen begrenzt ist, läßt sie sich durch Mittelung über mehrere Messungen natürlich verbessern. Das Ergebnis einer Mittelung des Standes über 10 Sekunden ist in Abbildung 1 als gestrichelte Linie eingezeichnet. Der Nachteil jeder Mittelung ist, daß plötzliche Änderungen im Signalverlauf nur mit einer Verzögerung entsprechend der Mittelungszeit festgestellt werden können. Diesen Ef-

fekt erkennt man besonders gut in Abbildung 2, wo die zeitliche Ableitung des gemittelten Standes, also der gemessene Gang, gezeigt wird.

Die Kurve zeigt die Antwort eines reinen C/A-Code-Empfängers auf einen Frequenzsprung: statt eine plötzlichen Frequenzänderung registriert der Empfänger eine langsam anwachsende Frequenz, die wegen der Kürze der eingepprägten Frequenzexkursion bereits wieder abnimmt, bevor der richtige Wert erreicht wird. Mit einem solchen GPS-Empfänger kann man also lediglich Oszillatoren 'disziplinieren', die bereits eine recht gute Stabilität haben.

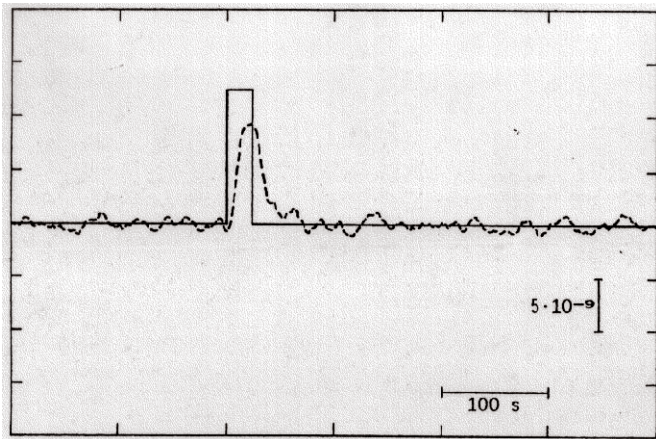


Abb. 2 gemessener Gang der Empfängeruhr gegenüber der GPS-Systemzeit. Code gemittelt ---; mit Trägerphase —

Erreichbare Genauigkeit für Empfänger mit Trägerphasen-Messung

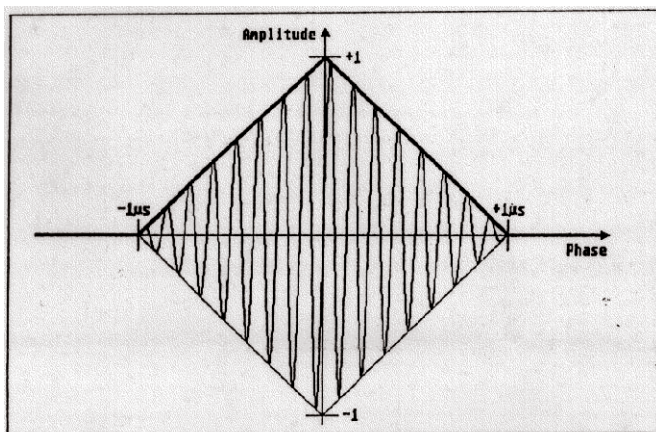


Abb. 3 Schematische Darstellung von Code- und Trägerkorrelation

Genauso wie bei DCF77 kann man auch bei einem GPS-Empfänger die Meßgenauigkeit dadurch erheblich erhöhen, daß man neben dem aufmodulierten Code auch die Trägerphase mißt. Aus der hohen Frequenz des Trägers resultiert eine sehr geringe Empfindlichkeit der Phasenzeitmessung gegenüber Rauschen und Störsignalen. Bei einer Periodendauer von etwa 635ps - gegenüber einer

Breite des Korrelations-Peaks von $1\mu\text{s}$ - erreicht man theoretisch bei gleichen Meßzeiten eine Auflösung, die um den Faktor 10.000 höher ist als beim C/A-Code.

Abbildung 3 veranschaulicht schematisch den Unterschied der beiden Meßmethoden. Das Korrelationsdreieck (dicke Linie) hat die Steigung $1/\mu\text{s}$, sodaß eine Verschiebung des Signals infolge des Rauschens um beispielsweise 1% der Amplitude zu einer scheinbaren Verschiebung der Code-Phase um 10ns führt.

Die Korrelationsfunktion des Trägers, ist eine von diesem Dreieck eingehüllter Sinus. Daher führt dieselbe Änderung des Signals hier nur zu einer scheinbaren Verschiebung der Trägerphase um 1ps !

Die erheblich größere Steilheit des Trägerphasen-Verlaufs ermöglicht praktisch fehlerlose Frequenzmessungen innerhalb sehr kurzer Zeiten. Damit kann ein GPS Empfänger innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde Frequenzen mit einer relativen Unsicherheit, zum Oszillator, von $\pm 1 \times 10^{-11}$ messen. Die durchgezogene Linie in Abbildung 2 zeigt den aus der Trägerphasen-Messung gewonnenen Gang der Empfängeruhr. Die Kurve gibt in praktisch idealer Weise den oben beschriebenen Frequenz-Sprung wieder.

Kombinierte Auswertung von Code- und Trägerphase

Messungen der Trägerphase allein sind nicht geeignet, die Laufzeit des Signals zu bestimmen, da sich verschiedene Perioden der Trägers in nichts unterscheiden. Hierfür muß in der Regel der aufmodulierte Code verwendet werden (eine Ausnahme bilden u.U. spezielle differenzielle Verfahren für geodätische Empfänger). Aus Messungen der Trägerphase kann man aber sehr genau die Änderung der Laufzeit bestimmen, sodaß man eine einmal bestimmte Laufzeit durch integrieren der Trägerphase fortschreiben kann. Eine geeignete Kombination aus Code- und Träger-Phasenmessung vereint die Absolute-Information des C/A-Codes mit der erheblich genaueren Relative-Information aus dem Trägerphasen-Fortschritt. In der Praxis bedeutet das, daß man durch die gemeinsame Auswertung der Code- und der Trägerphase die Laufzeiten glätten kann, ohne eine Zeitverzögerung hinnehmen zu müssen.

In Abbildung 1 zeigt die durchgezogene Kurve den Stand der Empfängeruhr, wie er nach diesem kombinierten Meßverfahren bestimmt wurde. Das Rauschen ist im Vergleich zur reinen Code-Messung (gepunktete Linie) verschwindend gering. Gleichzeitig treten weder Verrundung noch Verzögerung auf, wie sie für die zur Verringerung des Rauschens gemittelten Daten (gestrichelte Linie) charakteristisch sind. Die Präzision eines Meß- oder Übertragungsverfahrens läßt sich ganz ähnlich wie die Stabilität eines Oszillators durch Angabe der Allan-Varianz charakterisieren. Abbildung 4 zeigt die erreichte

Frequenzstabilität als Funktion der Mittelungszeit für etwas unterschiedliche Verhältnisse (Signal/ Rausch-Verhältnis S/N und Dauer der Einzelmessung). Tatsächlich werden in dem Empfänger einmal pro Sekunde unabhängige Trägerfrequenzmessungen mit einer Beobachtungsdauer zwischen 80ms und 640ms durchgeführt. Über diese Meßergebnisse kann dann gemittelt werden. Die Kurven fallen in etwa mit einer Steigung von $-1/2$ ab; demnach handelt sich bei dem begrenzenden Effekt um Rauschen und nicht um systematische Fehler. Bei dieser nicht optimierten Auswertung des Trägersignals kann der Empfänger mehrere Satelliten quasigleichzeitig messen und parallel auswerten. Die bei optimaler Auswertung erzielbare Kurzzeitstabilität ist im Diagramm gepunktet als 'kohärent' eingetragen.

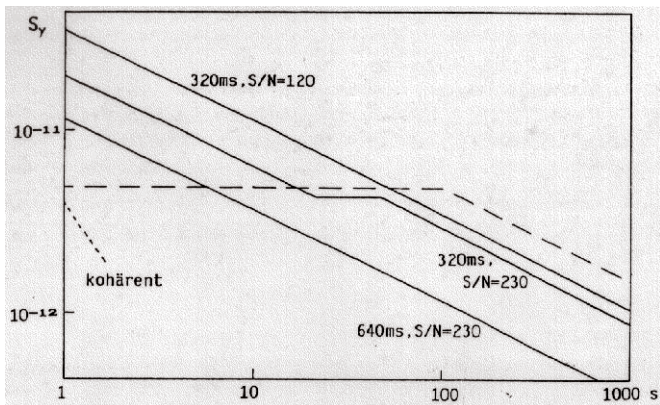


Abb.4 — Kurzzeitstabilität (Standardabweichung) verschiedener Trägerfrequenz-Messungen. Spezifikation einer Cäsium-Atomuhr (HP 5061A) zum Vergleich —; erwartete Meßauflösung bei kohärenter Auswertung

Zum Vergleich sind als weitere Kurve gestrichelt die Daten für eine Cäsium-Atomuhr eingezeichnet. Der Verlauf der Kurven zeigt, daß ein Trägerphasen messender GPS-Präzisionsempfänger eine Atomuhr nicht nur 'disziplinieren', sondern schlicht ersetzen kann.

Diese hohe Genauigkeit kann ein reiner C/A-Code-Empfänger auch mit vielen parallelen Kanäle wie sie heute in den meisten Geräten verwendet werden nicht erreichen.

Für einen Empfänger, der die Trägerphase messen kann, reicht es dagegen völlig aus, wenn er mit nur einem Kanal die verschiedenen Satelliten im Zeitmultiplex verfolgt.

Begrenzungen der nutzbaren Genauigkeit

Die hohe Genauigkeit in der Signalauswertung liefert zur Zeit nur eine entsprechend große Absolutgenauigkeit bei Vermessung einiger weniger bestimmter Satelliten, da die Betreiber des GPS die den zivilen Nutzern zugänglichen Signale und Daten der meisten Satelliten künstlich verschlechtern. Dazu wird offensichtlich der Lauf der Satellitenuhren moduliert. Möglicherweise werden auch kleine Fehler in die Bahndaten eingearbei-

tet. Diese zum Zwecke der 'Selective Availability' (SA) eingeführten Störungen führen zu einer Unsicherheit von etwa 100ns bei der Standmessung und von etwa $\pm 1 \times 10^{-9}$ bei der Gangmessung. Eine Eliminierung dieser Fehler ist nur mittels geheimer Verfahren möglich.

Welche der Satelliten durch Aktivierung der SA wann gestört sein werden, ist nicht vorhersagbar. Allerdings ist die Aktivierung der SA an den Bahndaten erkennbar. Nur noch vier der insgesamt zur Zeit 24 Satelliten stammen aus einer alten Generation, die eine Modulation des Uhganges noch nicht ermöglichte. Sie liefern daher Meßwerte mit voller Genauigkeit. Die in den Abbildungen 1, 2 und 4 gezeigten Daten wurden mit ungestörten Satelliten aufgenommen.

Eine andere Quelle für Ungenauigkeiten ist der Einfluß der Ionosphäre auf die Signalausbreitung. Es gibt zwar Modelle, die diesen Einfluß zu beschreiben versuchen, ihre Anwendung kann aber die Fehler nicht vollständig beseitigen.

Differenzmessungen (DGPS)

Weder die durch SA noch die durch die Ionosphäre erzeugten Fehler können in einem normalen Empfänger beseitigt werden. Sind höhere Genauigkeiten für die Zeit und/oder die Frequenzmessung nötig, so ist ein differentieller (DGPS-) Betrieb nützlich:

Ein Empfänger wird an einem bekannten Ort an eine sehr genaue Uhr angeschlossen (beispielsweise an die Atomuhr der PTB) und mißt die momentanen Uhrenfehler aller empfangenen Satelliten. GPS-Empfänger, die diese Meßergebnisse über Funk, Telefon o.ä. übermittelt bekommen, können diese dann in der Auswertung ihrer Empfangsdaten als Korrekturen berücksichtigen. Das Differentialverfahren beseitigt alle Fehler, die am Ort des Referenzempfängers und am Ort des nutzenden Empfängers gleich sind. Die Verbreitung der Korrekturdaten könnte vielleicht einmal ein Dienst der PTB sein, so wie diese heute die Zeit über DCF77 verbreitet.

Welchen Nutzen solch ein Dienstes bringen würde, zeigt ein erstes Experiment, das in der PTB mit zwei Empfängern durchgeführt wurde. Abbildung 5 zeigt Messungen an einem Satelliten mit eingeschalteter SA von zwei unabhängig voneinander arbeitenden Empfängern. Die beiden äußeren Kurven zeigen die von den beiden Empfängern ermittelten Uhrenstände, an denen man deutlich die Wirkung der SA erkennt. Die mittlere Kurve zeigt (in vergrößerten Maßstab) die Differenz zwischen den Code-Phasenmessungen der beiden Empfänger. Der verbleibende Fehler ist erheblich kleiner als der der beiden Einzelmessungen. Es ist zu erkennen, daß es sich dabei nicht um weißes Rauschen handelt.

Vermutlich resultiert der Restfehler aus lokal begrenzten Reflexionen, die für verschiedene Antennenpositionen

unterschiedlich sind. Durch sorgfältige Wahl des Antennenstandortes lassen sich diese Störungen möglicherweise etwas reduzieren.

Viel kleinere Differenzen erhält man, wenn man die Trägerphasen-Messungen hinzunimmt, da sich Reflexionsbeimischungen genauso wie Rauschen auf die Trägerphasen-Messungen weniger auswirken als auf die Code-Phasenmessungen. Für den überwiegenden Teil der Meßzeit ist der verbleibende Restfehler kleiner als 3ns, der größte Fehler beträgt 10ns. Auch hier zeigt sich also die Überlegenheit der kombinierten Code- und Trägerphasenauswertung, innerhalb kurzer Meßzeiten hohe Genauigkeit zu liefern.

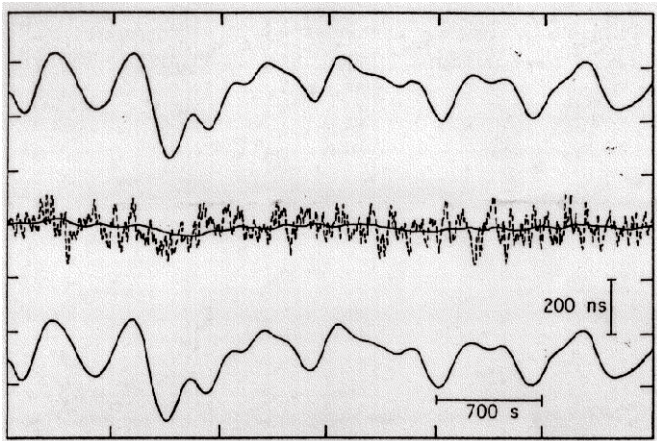


Abb. 5 oben/unten: Stände zweier unabhängiger Empfänger. Mitte: Differenz der Stände (4-fach vergrößert) Code gemittelt ---; mit Trägerphase —

Autor: Dr. W. Klische

DCF77

Zeitinformation und Normalfrequenz

Aufgrund seiner zentralen geographischen Lage bei Frankfurt am Main und seiner Reichweite bis etwa 2000km ermöglicht der Zeitsignal und Normalfrequenzsender DCF77 in weiten Teilen Europas den Betrieb von Funkuhren. Mit seiner von Atomuhren abgeleiteten Trägerfrequenz können Normalfrequenzoszillatoren kalibriert oder automatisch nachgesteuert werden. Der HM8125 erzeugt ein Signal welches die gleiche Codierung wie DCF77 aufweist, aber auf Grund der Abhängigkeit vom GPS System nicht die Positionierungsprobleme des DCF aufweist und außerdem weltweit verfügbar ist. Im folgenden wird die Funktionsweise des DCF77 beschrieben.

Trägerfrequenz

Die Trägerfrequenz von DCF77 ist eine Normalfrequenz von 77,5kHz. Sie wird von Atomuhren der PTB abgeleitet und weicht am Sendort im Mittel über einen Tag weniger als 1×10^{-12} (im Mittel über 100 Tage $\leq 2 \times 10^{-13}$) von dem durch die primären Atomuhren der PTB vorgegebenen Sollwert ab. Die Phasenzeit des Trägers wird näherungsweise in Übereinstimmung «[0,3]ps mit UTC (PTB) gehalten. Am Empfangsort beobachtete größere Phasen- bzw. Frequenzschwankungen sind ausbreitungsbedingt.

Amplitudenmodulation (AM)

Der Träger wird mit Sekundenmarken amplitudenmoduliert: Zu Beginn jeder Sekunde (mit Ausnahme der 59. Sekunde, jeder Minute) wird die Trägeramplitude für die Dauer von 0,1s oder 0,2s auf etwa 25% abgesenkt. Durch das Fehlen der 59. Sekundenmarke wird die nächstfolgende Minutenmarke angekündigt. Die unterschiedliche Dauer der Sekundenmarken dient zur binären Codierung von Uhrzeit und Datum, wobei Sekundenmarken mit einer Dauer von 0,1s der binären Null und solche mit einer Dauer von 0,2s der binären Eins entsprechen.

Codierung

Einmal während jeder Minute werden Minute, Stunde, Tag, Wochentag, Monat und Jahr BCD-codiert übertragen, bei AM durch Impulsdauermodulation der Sekundenmarken und bei der BPSK durch Invertieren der Pseudozufallsfolge. Abgesehen von der unterschiedlichen Minutenmarkenkennung und der Reservierung der ersten 14 AM-Sekundenmarken für die gelegentliche Aussendung von Betriebsdaten ist ab der 15. Sekundenmarke die durch AM übertragene Binärinformation die gleiche wie die durch BPSK. Das übertragene "Telegramm" gilt jeweils für die folgende Minute. Die Zuordnung der einzelnen Sekundenmarken auf die übertragene Zeitinformation und zeigt das Codierschema, in Bild 6. Die drei Prüfbits P1, P2 und P3 ergänzen jeweils die vorhergehenden Informationswörter

(7 Bits für die Minute, 6 Bits für die Stunde und 22 Bits für das Datum einschließlich der Nummer des Wochentages).

Mit den AM-Sekundenmarken 1 bis 14 werden gelegentlich Betriebsinformationen über die Steuereinrichtung übertragen, die nur für die für den Betrieb Verantwortlichen, aber nicht für die DCF77-Nutzer bestimmt sind. Verlängerte Sekundenmarken in diesem Bereich bedeuten nicht, daß die ausgestrahlte Zeitinformation fehlerhaft ist.

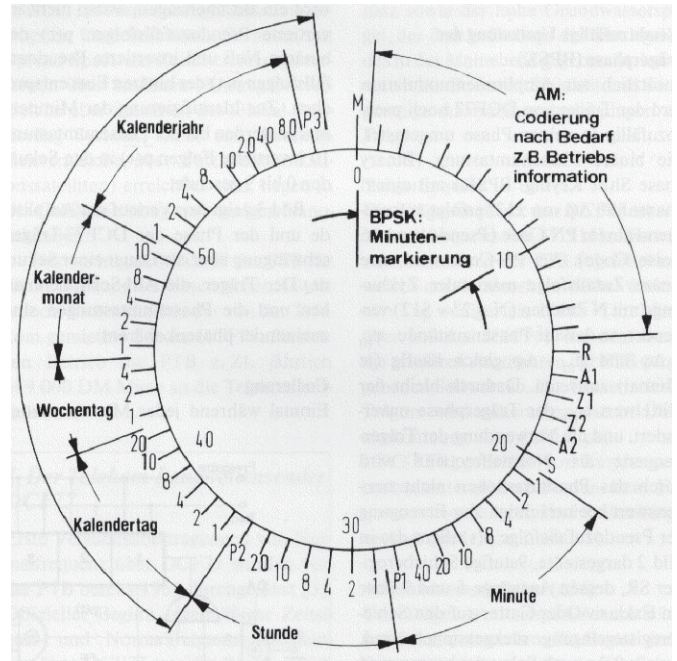


Bild 6 Schema der codierten Zeitinformation im DCF77. Dieses Signal wird vom 8125 erzeugt.

- M** Minutenmarke
- R** Antennenbit
- A1** Ankündigungsbit für den Übertragung von MEZ nach MESZ oder von MESZ nach MEZ
- Z1,Z2** Zeitzonen bits
- A2** Ankündigungsbits für eine Schaltsekunde
- S** Startbit der codierten zeitinformation
- P1, P2, P3** Prüfbits

Am Zustand des Antennenbits R (Nr.15) läßt sich erkennen, ob die Aussendung über die Betriebsantenne (Zustand Null) oder die Reserveantenne (Zustand Eins) erfolgt. Der Zweck des Antennenbits ist es, auf Phasensprünge des DCF77-Trägers hinzuweisen, die durch den Wechsel der Sendeantenne verursacht werden und zu einer Vergrößerung der Unsicherheit nachgesteuerter Normalfrequenzgeneratoren führen können. Von der PTB wird zwar dafür gesorgt, daß die abgestrahlte Trägerphasenzeit an beiden Antennen gleich ist, da beide Antennen aber etwa 1150 m voneinander entfernt sind, treten wegen der geänderten Laufzeiten zum Empfangsort nach einem Wechsel der Sendeantennen Phasenzeit-sprünge bis zu etwa $\pm 4\mu\text{s}$ auf. Mit Hilfe von R wird es

somit empfangsseitig möglich, den für jeden Empfangsort typischen Phasenzeitsprung im Empfänger durch geeignete Maßnahmen auszugleichen.

Die Zonenzeitbits Z1 und Z2 (Nr. 17 und 18) zeigen an, auf welches Zeitsystem sich die ausgesandte Zeitinformation bezieht. Bei der Aussendung von MEZ hat Z1 den Zustand Null und Z2 den Zustand Eins. Bei der Aussendung von MESZ ist es umgekehrt.

Das Ankündigungsbit A1 (Nr. 16) weist auf einen bevorstehenden Wechsel des Zeitsystems hin. Vor dem Übergang von MEZ nach MESZ oder zurück wird A1 jeweils eine Stunde lang im Zustand Eins ausgesendet. Mit dem Ankündigungsbit A2 (Nr. 19) wird auf das bevorstehende Einfügen einer Schaltsekunde aufmerksam gemacht. A2 wird ebenfalls eine Stunde lang vor dem Einfügen einer Schaltsekunde im Zustand Eins ausgestrahlt. Schaltsekunden werden nach Empfehlungen des Internationalen Erdrotationsdienstes in Paris weltweit zum gleichen Zeitpunkt in die Koordinierte Weltzeitskala UTC eingefügt, vorzugsweise am Ende der letzten Stunde des 31. Dezember oder des 30. Juni. Dies bedeutet, daß Schaltsekunden in der Gesetzlichen Zeit der Bundesrepublik Deutschland eine Sekunde vor 1 Uhr MEZ am 1. Januar oder vor 2 Uhr MESZ am 1. Juli eingeschoben werden. Vor dem Einfügen einer Schaltsekunde am 1. Januar (1. Juli) wird A2 daher sechzigmal von 00.00.19 Uhr MEZ (0 1.00. 19 Uhr MESZ) bis 00. 5 9.19 Uhr MEZ (01.59.19 Uhr MESZ) im Zustand Eins ausgesendet.

Die Ankündigungsbits A1 und A2 dienen dazu, Prozessoren in Funkuhren, die von der Gesetzmäßigkeit der Zeitählung zum Zweck der Fehlererkennung Gebrauch machen, über die Unregelmäßigkeiten in der Zeitählung zu informieren. Ohne A1 oder A2 würde die geänderte Zeitählung nicht sogleich zur Kenntnis genommen und zur Anzeige gebracht werden, sondern zunächst als fehlerhafter Empfang interpretiert.

Das Einfügen einer Schaltsekunde geschieht bei den AM-Sekundenmarken in folgender Weise: Die der Marke 01.00.00 Uhr MEZ bzw. 02.00.00 Uhr MESZ vorhergehende 59. Sekundenmarke wird mit einer Dauer von 0,1 s ausgesendet, und anstelle der normalerweise unterdrückten 59. Sekundenmarke (keine Trägerabsenkung) wird die eingefügte 60. Sekundenmarke ohne Trägerabsenkung ausgestrahlt. Bei der BPSK erscheinen die 10 investierten Rauschfolgen zur Minutenmarkenidentifizierung um 1s später. Die Notwendigkeit, Schaltsekunden auslassen zu müssen, ist bei der gegenwärtigen Drehgeschwindigkeit der Erde nicht zu erwarten.

Empfang der DCF77-Normalfrequenz

Wird der Träger von DCF77 zur Überwachung oder automatischen Nachsteuerung von Normalfrequenzgeneratoren genutzt, müssen die dazu erforderlichen Frequenz- bzw. Phasenzeitvergleiche zwischen dem lokalen

Oszillatorsignal und dem empfangenen DCF77-Trägersignal über ausreichend lange Mittelungszeiten erfolgen, damit die ausbreitungsbedingten sowie die durch die BPSK verursachten Phasenzeitschwankungen ausreichend eliminiert werden. Welche Phasenzeit- bzw. Frequenzschwankungen in Braunschweig, 273 km vom Sendort entfernt, auftreten, wurde vor einigen Jahren in der PTB genauer untersucht.

Die Bilder 7 und 8 geben die Ergebnisse dieser Untersuchung wieder und zeigen die aus den gemessenen Phasenzeitschwankungen errechneten mittleren relativen Frequenzschwankungen. Sie werden durch die Standardabweichung s ausgedrückt, um die die empfangene Trägerfrequenz bei einer Einzelmessung, bezogen auf den durch UTC(PTB) vorgegebenen Sollwert, unsicher ist.

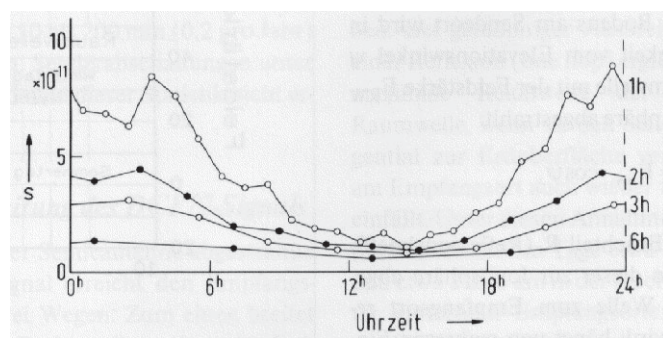


Bild 7 Standardabweichung s der relativen Abweichung der in 273km Entfernung empfangenen DCF77-Trägerfrequenz vom Sollwert in Abhängigkeit von der Tageszeit (MEZ) mit der Mittelungszeit als Parameter.

In Bild 7 ist s in Abhängigkeit von der Tageszeit mit der Mittelungszeit als Parameter dargestellt, wobei die angegebenen s -Werte jeweils auf 49 im Frühjahr durchgeführten Einzelmessungen basieren. Man erkennt an den Kurven, daß bei kurzen Mittelungszeiten am Tage geringere Unsicherheiten erreicht werden als in der Nacht. Andererseits mitteln sich die durch Raumwelleneinfluß verursachten Frequenzschwankungen auch in der Nacht weitgehend heraus, wenn über genügend lange Mittelungszeiten, z.B. über 6 Stunden, gemessen wird.

Bild 8 zeigt s in Abhängigkeit von der Mittelungszeit t , wobei die angegebenen Punkte typische Werte sind, die im Jahresmittel gelten und auf nur tagsüber ermittelten Meßwerten beruhen. Im Sommer können die s -Werte noch etwas kleiner, im Winter dagegen noch etwas größer sein. Aus dem Kurvenverlauf läßt sich für die Abhängigkeit von s von der Mittelungszeit t auch folgende Formel angeben:

$$s = 6,4 \times 10^{-9} \times t - 0,72, \quad t \text{ in s.}$$

Um noch den zunehmenden Raumwelleneinfluß bei größeren Entfernungen vom Sender zu verdeutlichen, sind in Bild 12 zusätzlich einige s -Werte für den etwa 700km von Braunschweig entfernten Schweizer Normal-

frequenzsender HBG auf 75kHz angegeben. Unter der Annahme, daß die von Atomuhren abgeleiteten Trägerfrequenzen beider Sender näherungsweise gleich stabil sind, zeigt die HBG-Kurve, daß die ausbreitungsbedingten Frequenzschwankungen von HBG aufgrund seiner 2,5fach größeren Entfernung vom Empfangsort Braunschweig etwa zehnmal größer sind als die von DCF77.

Die für Braunschweig ermittelten Frequenzschwankungen können sicherlich als Anhaltswerte für alle Empfangsorte dienen, an denen die Bodenwelle vorherrscht. Im Entfernungsbereich, in dem Boden- und Raumwelle gleich groß werden können, sind dagegen Frequenzvergleiche durch mögliches "Phasengleiten" ("cycle slipping") erschwert. In sehr großen Entfernungen, wenn die Raumwelle die Oberhand gewinnt, liegen wieder konstante Verhältnisse vor. Hier sollten Frequenzvergleiche möglichst nur am Tage oder in der Nacht bei stabiler Raumwellenausbreitung vorgenommen werden, damit die Laufzeitänderungen durch das Wandern der D-Schicht in der Dämmerung nicht als Änderungen der Referenzfrequenz interpretiert werden.

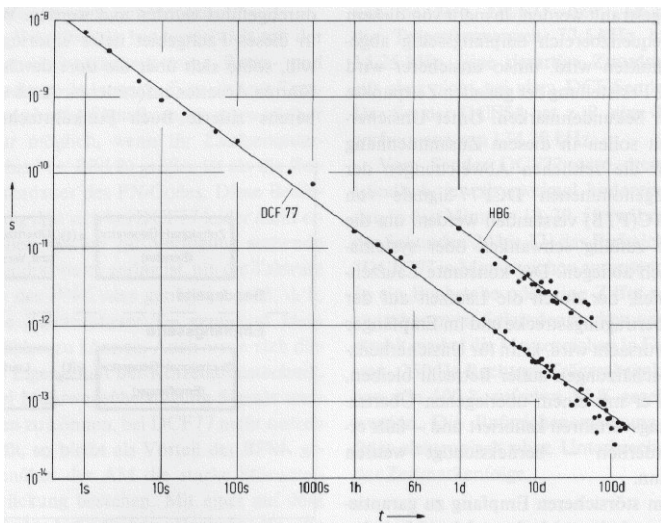


Bild 8 Standardabweichung s der relativen Abweichung der in 273km Entfernung am Tage empfangenen DCF77-Trägerfrequenz vom Sollwert in Abhängigkeit von der Mittelungszeit.

Literatur:

Auszug aus: PTB - DCF77 aus Telekom Praxis 1/93
 Autor Dr.-Ing. Peter Hetzel