

Zeitsignal- und Normalfrequenzsender DCF77

Über den Sender DCF77 der Deutschen Telekom AG verbreitet die PTB Zeitsignale und Normalfrequenz. Jedermann kann auf diese Weise kostenlos über die gesetzliche Zeit verfügen. Funkuhren in ganz Deutschland und den angrenzenden europäischen Staaten lassen sich genauer als eine Millisekunde in Übereinstimmung mit der gesetzlichen Zeit halten. Die Zeitangaben der Rundfunk- und Fernsehstationen sowie die Uhren der Deutschen Bahn AG und des Zeitansagedienstes der Deutschen Telekom AG werden ebenso von DCF77 gesteuert wie viele Tarif-Schaltuhren der Energieversorgungsunternehmen, Verkehrsüberwachungseinrichtungen und Ampelanlagen. In Industrie und Wirtschaft werden mit den Zeitsignalaussendungen der PTB Prozeßabläufe gesteuert und überwacht. Auch für den Hausgebrauch sind eine Vielzahl von Funkuhrmodellen erhältlich. Die Eigenschaften von DCF77 werden im folgenden beschrieben.

Standort

Sendefunkstelle Mainflingen (50° 01' Nord, 09° 00' Ost),
etwa 25 km südöstlich von Frankfurt/Main

Das Steuersignal wird am Sendeort von Atomuhren der PTB abgeleitet und von Braunschweig aus kontrolliert.

Trägerfrequenz

Normalfrequenz 77,5 kHz
relative Abweichung der Trägerfrequenz vom Nennwert im Mittel über:

$$1 \text{ d} \leq 1 \cdot 10^{-12}$$

$$100 \text{ d} \leq 2 \cdot 10^{-13}$$

Die Phasenzeit von DCF77 wird so nachgeregelt, daß sie am Sendeort näherungsweise ($\pm 0,3 \mu\text{s}$) mit UTC(PTB) in Übereinstimmung bleibt. Am Empfangsort beobachtete größere Phasen- bzw. Frequenzschwankungen werden durch die Überlagerung von Raum- und Bodenwelle hervorgerufen.

Leistung

Senderleistung 50 kW

geschätzte abgestrahlte Leistung etwa 30 kW

Reichweite etwa 2000 km

Antenne

150 m (im Falle der Aussendung mit Reserveantenne 200 m)
hohe vertikale Rundstrahlungsantenne mit Dachkapazität

Sendezeit

24-h-Dauerbetrieb. Kurze Unterbrechungen (einige Minuten) sind möglich, wenn bei Störungen oder Wartungsarbeiten auf einen Reservereceiver oder eine Reserveantenne umgeschaltet werden muß. Bei Gewitter am Sendeort können durch Blitzeinschlag bedingte kurzzeitige Senderabschaltungen von einigen Sekunden vorkommen.

Zeitsignale

Der Träger wird amplitudenmoduliert mit Sekundenmarken: Zu Beginn jeder Sekunde (mit Ausnahme der 59. Sekunde jeder Minute) wird die Trägeramplitude für die Dauer von 0,1 s oder 0,2 s auf etwa 25 % abgesenkt. Der Beginn der Trägerabsenkungen ist der genaue Sekundenbeginn. Das Fehlen der 59. Sekundenmarke kündigt die nächstfolgende Minutenmarke an.

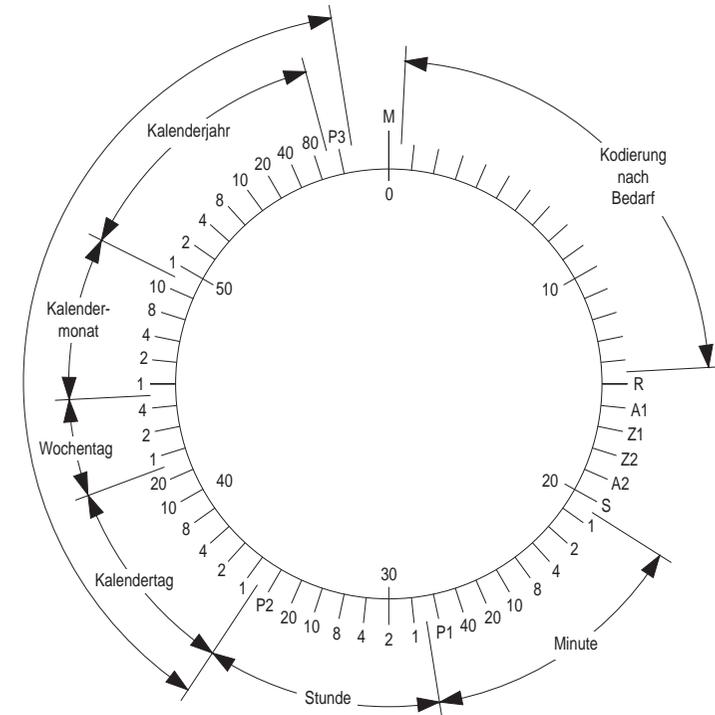
Die Sekundenmarken sind phasensynchron mit dem Träger.

Beim Empfang hängt die Unsicherheit, mit der die Ankunftszeitpunkte der Sekundenmarken ermittelt werden können, von mehreren Einflüssen ab: von der durch die geringe Bandbreite der Sendeantenne bedingten Form der Sekundenmarken-Flanken, vom Raumwellenanteil des empfangenen Signals, von möglichen Interferenzen und von den Empfängereigenschaften. Da die durch die Raumwelle bedingten Ausbreitungsschwankungen abhängig sind von der Tages- und Jahreszeit sowie der Entfernung vom Sender läßt sich für die Unsicherheit kein bestimmter Wert angeben. Je nach Empfänger Aufwand und Entfernung vom Sendort sind Unsicherheiten der aufgenommenen Zeitpunkte zwischen etwa 100 μ s und einigen ms erreichbar.

Zeitkode

Während jeder Minute werden die Nummern von Minute, Stunde, Tag, Wochentag, Monat und Jahr BCD-kodiert durch Impulsdauermodulation der Sekundenmarken übertragen. Dieses „Telegramm“ gilt jeweils für die folgende Minute. Dabei entsprechen Sekundenmarken mit einer Dauer von 0,1 s der binären Null und solche mit einer Dauer von 0,2 s der binären Eins. Die Zuordnung der einzelnen Sekundenmarken auf die übertragene Zeitinformation zeigt das Kodierschema. 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 Nummer des Wochentages) auf eine gerade Anzahl von Einsen.

Die Sekundenmarken Nr. 17 und 18 zeigen an, auf welches Zeitsystem sich die ab der darauffolgenden 20. Sekundenmarke übertragene Zeitinformation bezieht. Bei Aussendung der MEZ wird die Sekundenmarke Nr. 18 auf 0,2 s verlängert; die Sekundenmarke Nr. 17 hat eine Dauer von 0,1 s. Bei der Aussendung der MESZ ist es umgekehrt.



Kodierschema

M	Minutenmarke (0,1 s)
R	Sekundenmarke Nr. 15 hat eine Dauer von 0,2 s, wenn die Aussendung über die Ersatzantenne erfolgt
A1	Ankündigung eines bevorstehenden Wechsels von MEZ auf MESZ oder umgekehrt
Z1, Z2	Zonenzeitbits
A2	Ankündigung einer Schaltsekunde
S	Startbit der kodierten Zeitinformation (0,2 s)
P1, P2, P3	Prüfbits

Das Ankündigungsbit A1 (Nr. 16) weist auf einen bevorstehenden Übergang von MEZ und MESZ oder zurück hin und wird vor dem Wechsel jeweils eine Stunde lang im Zustand Eins ausgesendet: vor dem Übergang von MEZ nach MESZ (MESZ nach MEZ) von 01:00:16 Uhr MEZ (02:00:16 Uhr MESZ) bis 01:59:16 Uhr MEZ (02:59:16 Uhr MESZ).

Mit dem Ankündigungsbit A2 (Nr. 19) wird auf das bevorstehende Einfügen einer Schaltsekunde aufmerksam gemacht. Schaltsekunden werden nach Empfehlungen des Internationalen Erdrotationsdienstes weltweit zum gleichen Zeitpunkt in die Koordinierte Weltzeit-skala 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 sechszigmal von 00:00:19 Uhr MEZ (01:00:19 Uhr MESZ) bis 00:59:19 Uhr MEZ (01:59:19 Uhr MESZ) im Zustand Eins gesendet.

Beim Einfügen einer Schaltsekunde hat die zugehörige Minute eine Dauer von 61 Sekunden, und 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. Anstelle der normalerweise unterdrückten 59. Sekundenmarke wird in diesem Fall die eingefügte 60. Sekundenmarke ohne Trägerabsenkung ausgestrahlt.

Pseudozufällige Umtastung der Trägerphase

Zusätzlich zur Amplitudenmodulation (AM) wird dem Träger von DCF77 seit 1983 ein pseudozufälliges Phasenrauschen aufmoduliert. Dazu wird die Phase entsprechend einer binären Zufallsfolge umgetastet (Phasenhub: $\pm 13^\circ$), wobei der Mittelwert der Trägerphase unverändert bleibt.

Zur Erzeugung der Pseudozufallsfolge dient ein 9stufiges Schieberegister, dessen Ausgänge 5 und 9 über ein Exklusiv-Oder-Gatter auf den Schieberegistereingang rückgekoppelt sind. Jeweils 0,2 s nach Sekundenbeginn wird das Schieberegister aus dem Zustand Null gestartet und nach Ablauf eines vollständigen Zyklus, etwa 7 ms vor der nächsten Sekundenmarke, wieder angehalten. Die Taktfrequenz 645,83 Hz ist eine Subharmonische ($77\,500/120$) der Trägerfrequenz. Die Dauer eines Rauschzyklus beträgt 793 ms. Mit jedem Rauschzyklus wird 1 Bit übertragen, wobei eine invertierte Pseudozufallsfolge dem Datenzustand 1 entspricht. Außer der Minutenmarken-Identifizierung ist die durch Phasenrauschen übertragene Binärinformation die gleiche wie die durch AM. Anstelle der bei AM weggelassenen 59. Sekundenmarke werden bei der Rauschkodierung zehn invertierte Pseudozufallsfolgen in den Sekunden 0 bis 9 übertragen.

Empfangsseitig läßt sich die verwendete Pseudozufallsfolge als Suchsignal reproduzieren und mit dem empfangenen Phasenrauschen kreuzkorrelieren. Die Kreuzkorrelation in Verbindung mit pseudozufälligem Phasenrauschen erlaubt eine genauere Bestimmung der Ankunftszeitpunkte der empfangenen Zeitsignale. Durch das Phasenrauschen wird der Empfang der AM-Zeitsignale nicht gestört; und auch die Eigenschaften von DCF77 als Normalfrequenzsender werden nicht nennenswert beeinflusst.