

Tech-Talk

FACW e.V. - DARC OV Weinheim, A20

Wie kommt die Zeit ins Schlafzimmer

Günter Fred Mandel, DL4ZAO

Eine kurze Betrachtung des langen Wegs
von der Sonnenuhr zur DCF77 Funkuhr

*"Zeit ist, was verhindert, dass
alles auf einmal passiert!"*



Verabredung zum Hahnenschrei



Pars minuta – der kleine Teil. So wurde vor tausenden Jahren lateinisch ein 60stel bezeichnet. Gemeint war der 60. Teil einer Stunde. Erfunden haben es die Babylonier.

Ihrem Zahlensystem verdanken wir bis heute unsere Definition von Stunde, Minute und Sekunde. Durch die 12 Mondphasen zerlegten die Babylonier das Jahr in 12 Monate zu je 30 Tagen

eine exakte Uhrzeit spielte für unsere Vorfahren sehr lange keine Rolle. Der Alltag der meisten Menschen richtete sich nach Sonnenauf- und -untergang. Jahreszeiten prägten die Arbeitswelt. Man orientierte sich grob an natürlichen Abläufen, stand mit den Hühnern auf und verabredete sich einfach zur Mittagssonne – oder eben zur Abenddämmerung.



Tagwerk: Die Arbeit zwischen Sonnenauf- und -untergang

Die Kirche bestimmt den Takt des Lebens

Die strenge Gliederung des Tages nahm ihren Ursprung in den Klöstern, wo das Läuten der Stunden den Mönchen den Takt für Gebet und Arbeit vorgab. Das Stundengebet der Mönche (Matutin, Laudes, Prim, Terz, Sext, Non) strukturierte den Tag.

Diese Praxis ging auf die Städte über, in denen öffentliche Stundenglocken zum Beispiel das Signal für das Öffnen und Schließen der Stadttore gaben.

Die Länge der Stunden gaben Kerzen-, Wasser- oder Sonnenuhren vor, und fiel je nach Ort und Jahreszeit verschieden aus.



Wem die Stunde schlägt

Die Uhr des Freiburger Münsters hat nur einen Zeiger für die Stunden. Das war am Ausgang des Mittelalters genau genug.

Die Entwicklung der Turmuhren begann um 1300 mit den ersten mechanischen Räderuhren mit Gewichtsantrieb, die primär als Schlaguhren zur Stundenanzeige in Klöstern und Kirchen dienten.

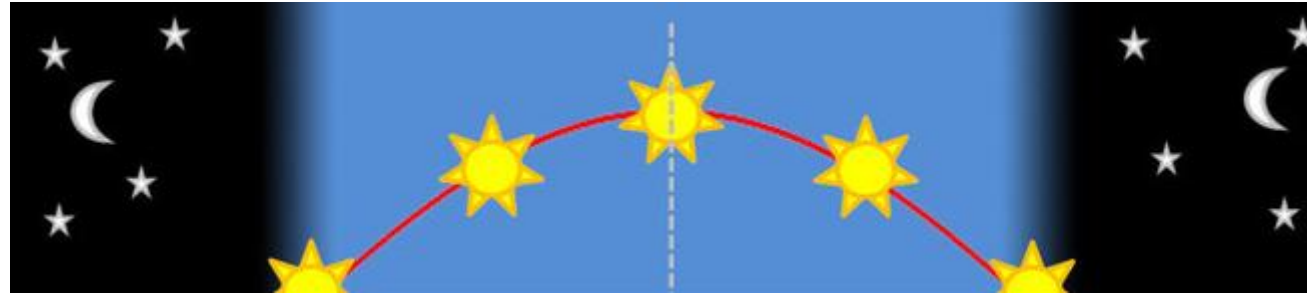
Sie lösten Sonnenuhren ab, regulierten das öffentliche Leben und entwickelten sich von rein akustischen Glockenschlägen hin zu Zifferblattanzeigen ab ca. 1500. Pendeluhren gab es ab 1650 (Christiaan Huygens).

*Und so wie Räder in der Uhr Gefüge
sich so bewegen,
dass, wer aufmerkt, glaubt,
das erste stehe still, das letzte fliege.“
(Dante Alighieri „Die göttliche Komödie“, um 1320)*



Turmuhr des Freiburger Münsters von 1550
Eine typische Form von historischen Turmuhren

Die Ortszeit, die wahre Uhrzeit



Historisch war es üblich, die absolute Zeit mit Hilfe von Sonnenuhren zu ermitteln, was zur Folge hatte, dass die Zeitmessung ortsabhängig war und von der Erdrotationsdauer abhing. Wegen der Vernetzung der Welt durch Telegrafie, Eisenbahn und Seeschifffahrt erwies sich das Prinzip der lokalen Ortszeit als unpraktikabel.

In den 1840–1860er Jahren wurden in fast allen europäischen Ländern landesweit einheitliche Zeitzonen festgelegt, in denen jeweils eine einheitliche Zeit herrscht, die sich von der Sonnenstandszeit, der wahren Ortszeit WOZ bzw. MOZ (mittlere Sonnenzeit) unterscheidet.



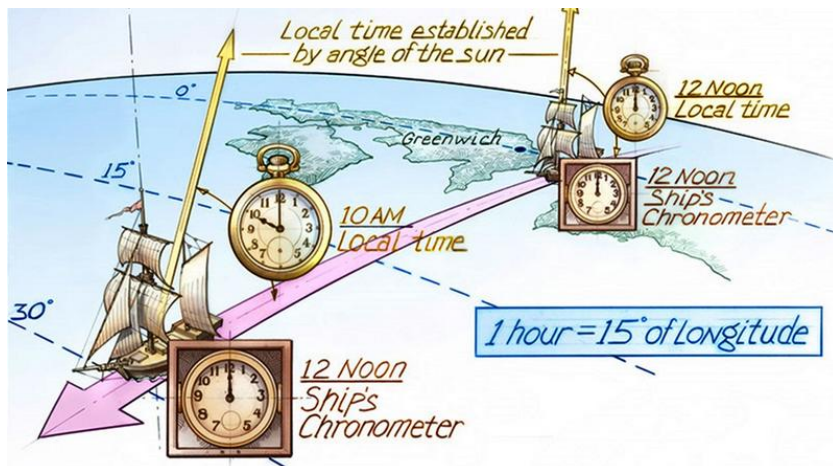
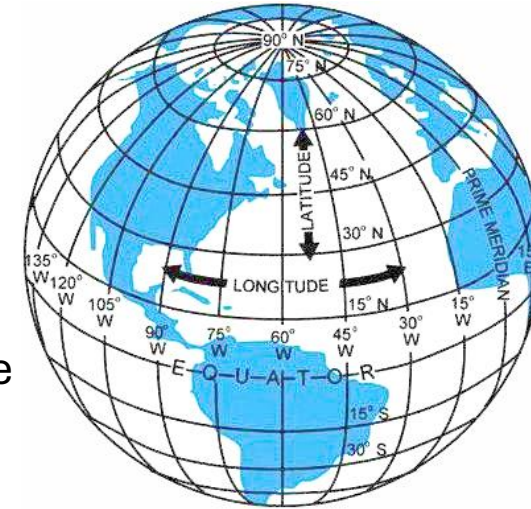
Die gültige Zeitinformation wurde von nun an an einem bestimmten Ort erzeugt und muss innerhalb der betreffenden Zeitzone verbreitet werden.



Das Längengradproblem

Längengradproblem bezeichnet das lange ungelöste Problem, die Position eines Schiffes auf dem offenen Meer bestimmen zu können.

Während die geographische Breite mithilfe des Winkels zu Referenzsternen relativ einfach feststellbar ist, ist eine genaue Bestimmung der Länge weitaus schwieriger. Nach einem Schiffbruch wegen fehlerhafter Positionsbestimmung, bei dem über 1400 Seeleute der Royal Navy starben, setzte die englische Krone 1714 ein Preisgeld von 20.000 Pfund für die Lösung des Problems aus. (Longitude Act)



Zur Bestimmung der Länge eines beliebigen Orts wird als Referenz die genaue Sonnenzeit an einem Ort mit bekannter Länge benötigt. Aus der Zeitdifferenz konnte man dann mit Hilfe von nautischen Tabellen (Almanach) den Längengrad exakt ermittelt.

In der Ermittlung dieser genauen Referenzzeit lag das Problem, so lange hinreichend genaue Uhren für die anspruchsvollen Bedingungen auf See technisch nicht machbar waren.

John Harrison löst das Längengradproblem



John Harrison, Tischler und autodidaktischer Uhrmacher löst das Längengradproblem.

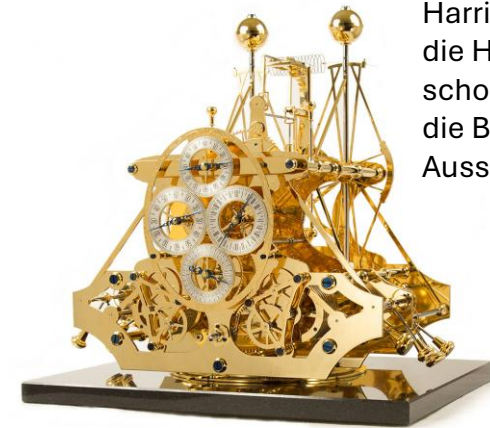
Harrison tüftelt über 30 Jahre an Präzisions-Zeitmessern. Er ist der Erfinder des Bimetall-Streifens und verwendet in seinen Uhren neuartige Mechanismen und Federn.

Sie trotzen Temperaturschwankungen und Erschütterungen auf See.

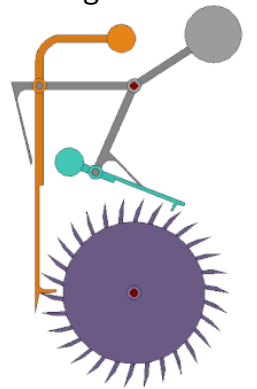
Nevil Maskelyne, königlicher Astronom, der eine Mondstanz-Methode für die Navigation entwickelt, steht Harrison dabei feindselig gegenüber.

James Cook führt auf seiner zweiten Reise 1772 eine Kopie von Harrisons H4 mit und berichtet begeistert.

Harrison begründet mit seinen Zeitmessern das Feinmechanikhandwerk in England und Europa, eine Schlüsselrolle für die industrielle Revolution.



Harrisons erstes Modell, die H1 um 1735 erfüllte schon auf einer Testfahrt die Bedingungen der Ausschreibung.



Ø ca. 13 cm

Das Modell H4, mit der Harrison 1761 den Preis gewann. Seine Uhr ging auf der 81 tägigen Reise von Portsmouth nach Jamaica angeblich nur um 5 s falsch.

1893 hatte jeder Ort im dt. Reich seine eigene Zeit

15. Längengrad (Greenwich +1 h)



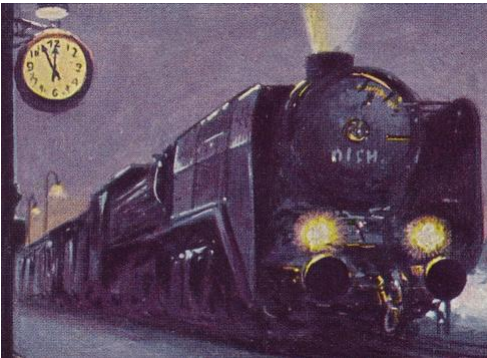
Mittag war dann, wenn die Sonne am höchsten stand

Basis war die lokale astronomische Zeit (wahre oder mittlere Sonnenzeit, WOZ)

Die Eisenbahn forciert die einheitliche Zeit

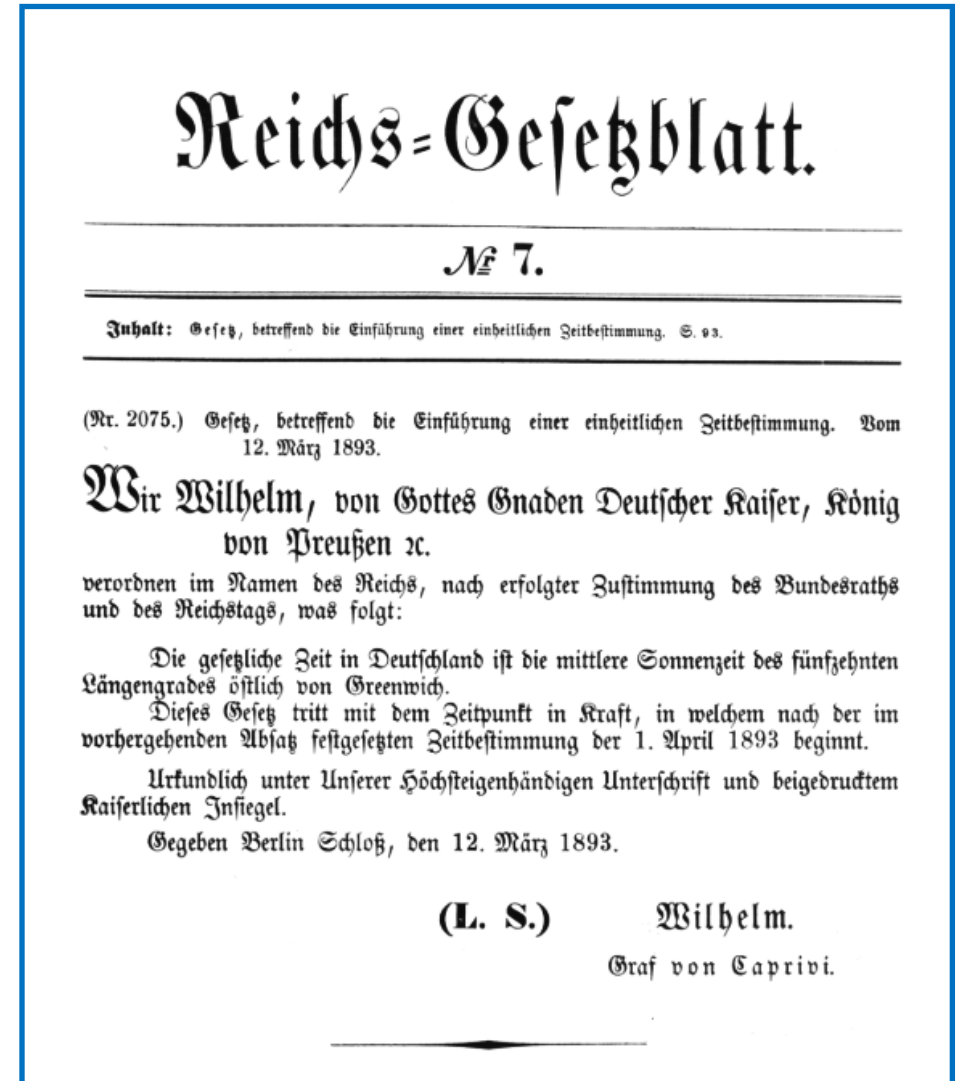
Die Erde dreht sich um 15 Längengrade pro Stunde. Deutschland erstreckt sich von Ost nach West über neun Längengrade. Zwischen Görlitz und Aachen besteht daher bei der Sonnenstand-Ortszeit eine Zeitdifferenz von ca. einer halben Stunde.

Vor 1893 hatte jeder Ort in Deutschland eigene Zeitmessungen, was den Zugverkehr kompliziert machte.



Die gesetzliche Zeit in Deutschland ist die mittlere Sonnenzeit des 15. Längengrades östlich von Greenwich

Die MEZ wurde am 1. April 1893 auf Drängen der Eisenbahngesellschaften im Deutschen Reich eingeführt, um das Chaos unterschiedlicher lokaler Ortszeiten im Fahrplanbetrieb zu beenden.



Weltzeit - GMT Greenwich Mean Time

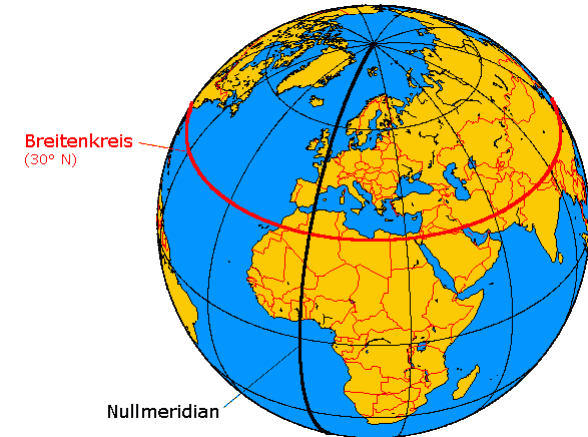
Die Globalisierung des Nachrichtenverkehrs durch das Transatlantikkabel und andere länderübergreifende Verbindungen und die rasche Zunahme des internationalen Schiffs- und Eisenbahnverkehrs riefen nach einem einheitlichen Weltzeitsystem.



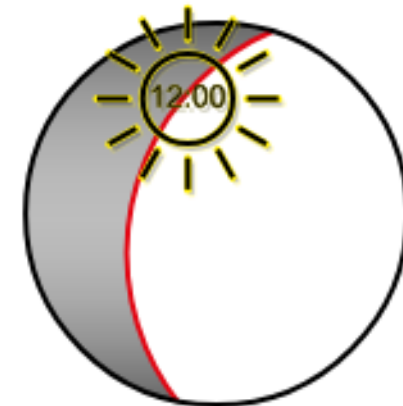
1884 trafen sich Vertreter von 25 Staaten in Washington zur Internationalen Meridian-Konferenz, auf der sie sich darauf einigten, die Erde in 24 Zeitzonen mit einer geografischen Länge von 15 Grad aufzuteilen.

Zum Nullmeridian erklärte die Konferenz den Greenwich-Meridian, der zu dieser Zeit bereits auf vielen Seekarten als Nullmeridian verzeichnet war.

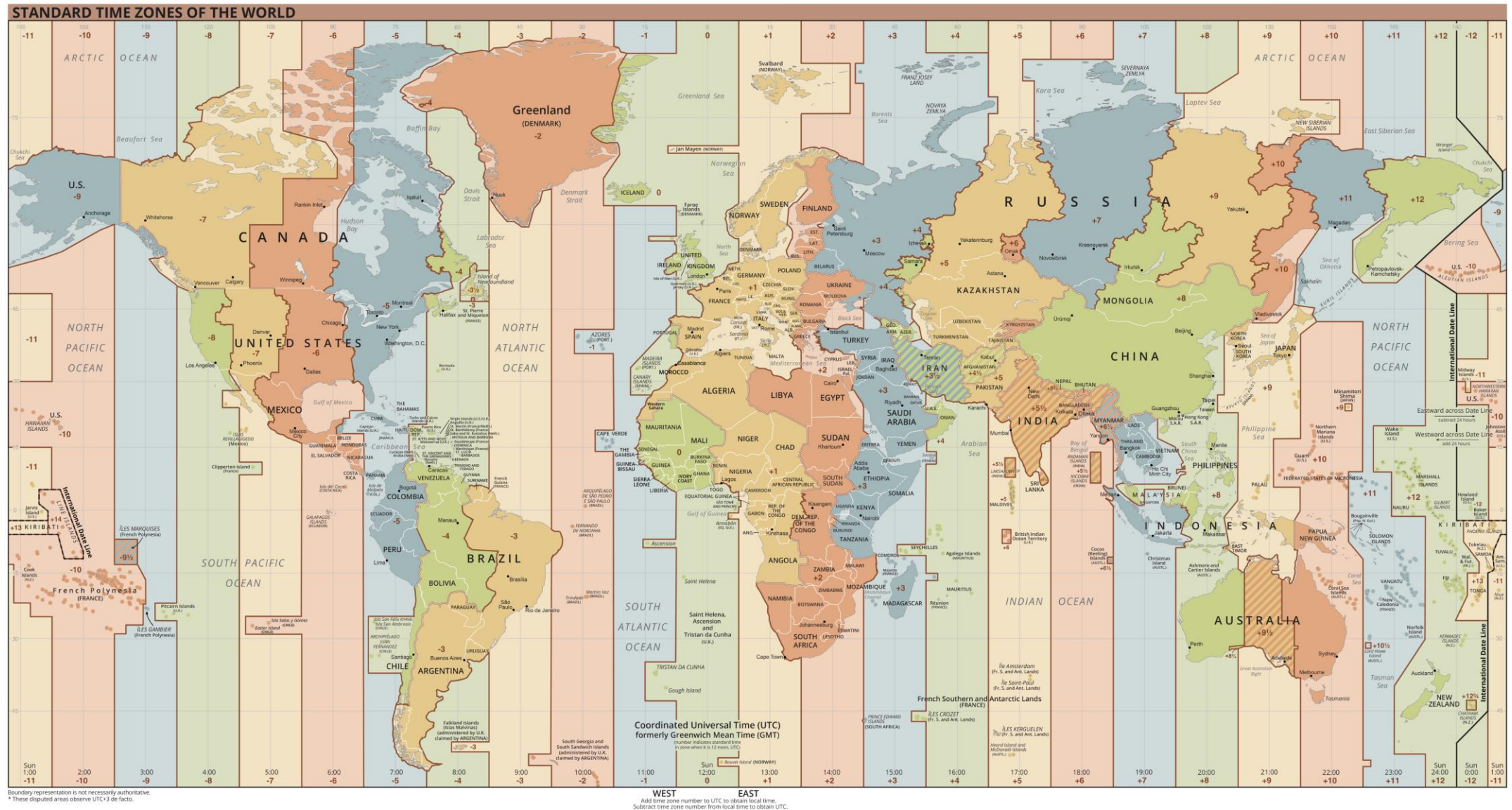
Die Null-Zeitzone, GMT, erstreckt sich von 7,5 Grad westlich bis 7,5 Grad östlich des Greenwich-Meridians. Als Datumsgrenze wurde der 180. Längengrad festgelegt.



Die Sonne erreicht in Greenwich um 12 Uhr ihren Höchststand



Weltzeitzonen politisch



Sekunde mal... wer macht die Zeit wenn sie vergeht



„**Sekunde**“ die historische Definition basierend auf der Drehung der Erde als der sechzigste Teil einer Minute des in 24 Stunden zu 60 Minuten eingeteilten Tages. Diese von Carl Friedrich Gauss vorgeschlagene Sonnensekunde ist der 86400ste Teil eines mittleren Sonnentages. In Gebrauch bis Mitte der 1950er Jahre.

Ab 1956 galt die **Ephemeridensekunde**: Der Bruchteil $1/31\,556\,925,9747$ des tropischen Jahres am 0. Januar 1900 also dem 31.12.1899 um 12 Uhr. Die Einheit ist nicht mehr auf den Tag, sondern auf die gleichmäßigere jährliche Bewegung der Erde um die Sonne zurückgeführt. Bis 1967 beruhte die Sekunde auf astronomischen Messungen.

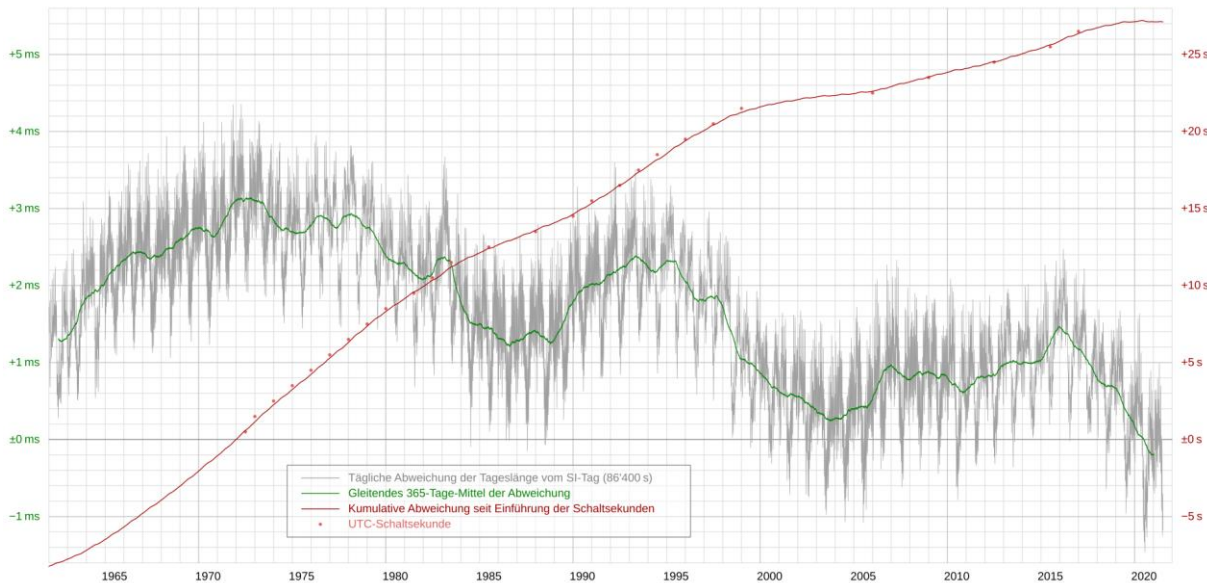
1932 erste Quarzuhren im Labor der PTB. Feststellung: Unregelmäßigkeiten bei der Erdrotation. Damit war erstmals eine von Menschen gebaute Uhr genauer als die bisherige Referenz der Zeitmessung, die Erddrehung.

*1955 begann die erste Cäsium-Atomuhr zu arbeiten. 1967 wurde von Wissenschaftlern und Politikern international die „**Atomsekunde**“ beschlossen. Ein ganzzahliges Vielfaches des 9.192.631.770-fachen der Periodendauer einer Mikrowelle die mit einem ausgewählten Niveauübergang im Cäsiumatom in Resonanz ist. Die Primäruhr CS2 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig weicht in etwa **3 Millionen Jahren nur eine Sekunde** ab.*

Die Erde geht nach – UTC wird Weltzeit

Schaltsekunden kompensieren Erdumdrehung. Wegen der ungleichmäßigen Erdrotation passen Atomzeit und der astronomische mittlere Tag nach Gauß nicht perfekt zusammen: Schon 1972 war eine Differenz von zehn Sekunden aufgelaufen.

Man erschuf daraufhin die koordinierte Weltzeit „**UTC**“ Universal Time Coordinated (Bei Militär und Aviation: „z“ Zulu-Zeit). Die UTC beruht auf der Grundlage der Atomzeit (TAI), sie wird vom Internationalen Büro für Maße und Gewicht BIPM koordiniert.



Die UTC wird unregelmäßig mit Schaltsekunden an die astronomische Zeit angepasst. Damit wird kompensiert, dass die Erde für eine Umdrehung ein kleines bisschen länger braucht als 24 Stunden Atomuhrzeit.

Schaltsekunden sind für vernetzte IT-Systeme eine große Fehlerquelle. Sie sollen ab 2035 abgeschafft und durch eine andere Lösung ersetzt werden.

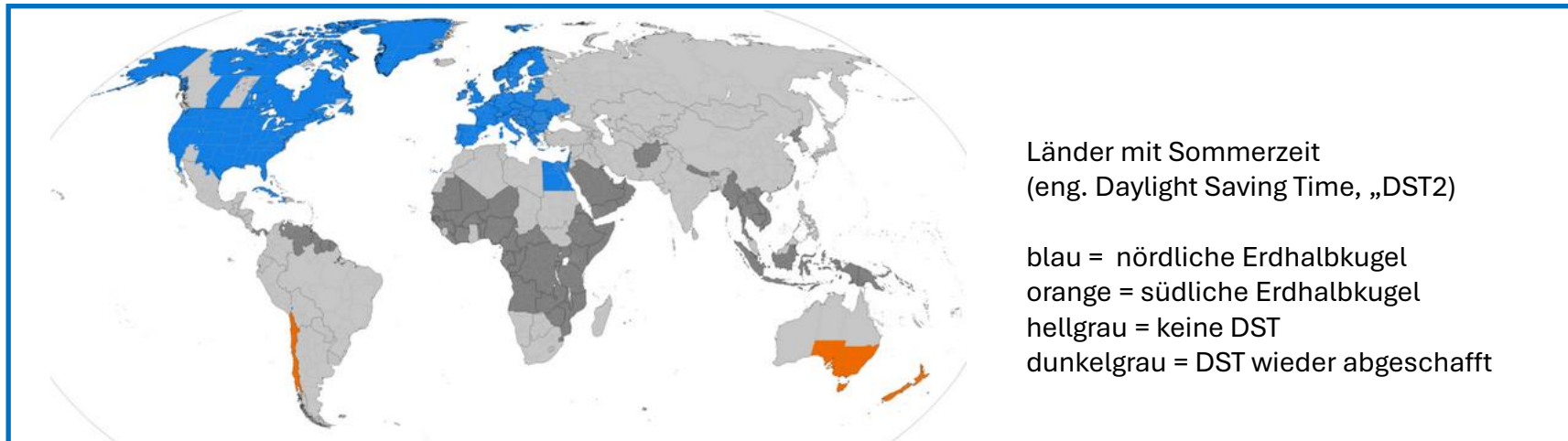
Sommerzeit - der kleine Jetlag

Die Sommerzeit ist eine deutsche Erfindung. Nach Ausbruch des ersten Weltkriegs 1916 entschied der Kaiser, die Uhren von Mai bis September eine Stunde vorzustellen. Neben Einsparungen bei Rohstoffen sollten die Arbeiter in der Rüstungsindustrie die Tage besser ausnutzen können. Die Regelung endete nach Kriegsende, wurde aber 1939 zum zweiten Weltkrieg bis zur Gründung der zwei deutschen Staaten wieder genutzt.

1980 führt die DDR die Sommerzeit ein, die BRD und die meisten westeuropäischen Länder folgten. Seit 1996 gelten in der gesamten EU einheitliche Termine für die Zeitumstellung auf Sommerzeit:

Am letzten Sonntag im März wird die Uhr eine Stunde von 2 Uhr auf 3 Uhr vorgestellt.

Am letzten Sonntag im Oktober wird die Uhr von 3 Uhr auf 2 Uhr zurückgestellt.



Die Atomuhr tickt am schnellsten



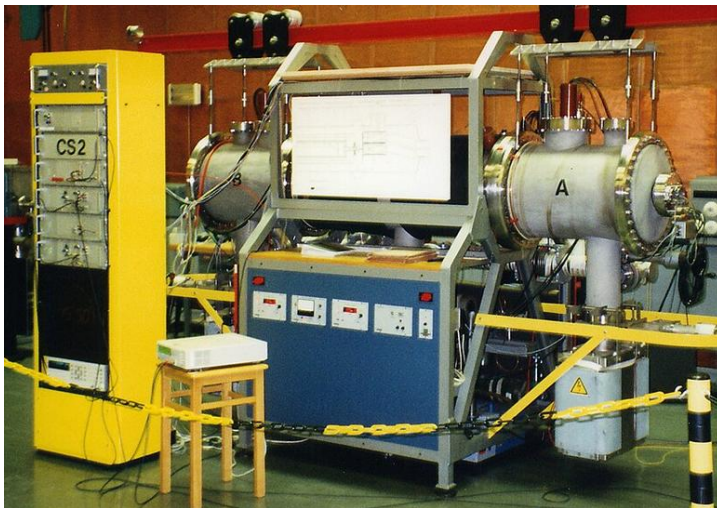
Eine Atomuhr ist ein Zeitmesser, dessen Zeitnormal die hochfrequente Schwingungsdauer bestimmter Atome ist (z.B. Caesium, Rubidium), die durch ein elektromagnetisches Feld oder optisches Pumpen zu Schwingungen angeregt werden und einen Quarzgenerator synchronisieren.

Die erste Atomuhr wurde von dem Amerikaner Isidor Isaac Rabi (1898-1988) an der Columbia University entwickelt, der dafür 1944 den Nobelpreis erhielt.

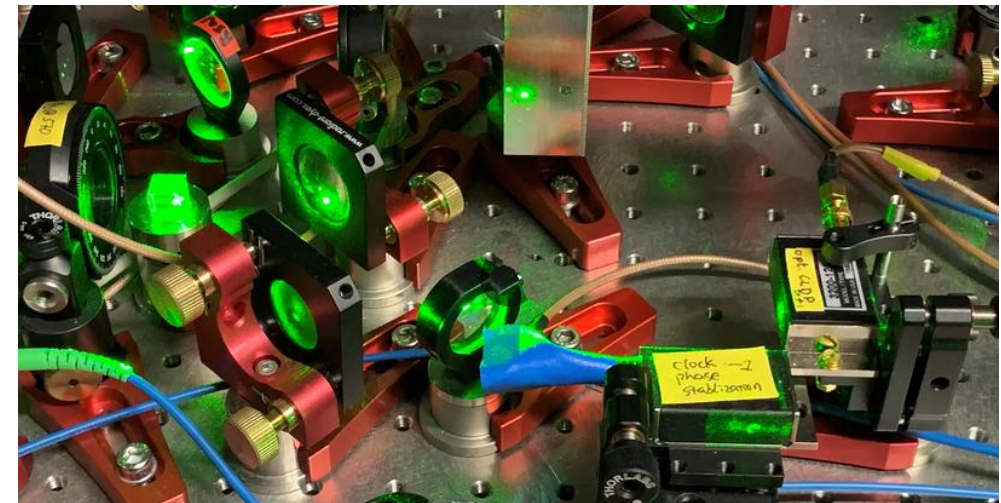
Ende der 1990er Jahre entstand die erste "Caesium-Fontänenuhr" CSF2 der PTB. Diese neu entwickelte Atomuhr übertrifft herkömmliche Atomuhren an Genauigkeit.

Möglich wird dies durch die Verwendung von lasergekühlten Caesium-Atomen, die - ähnlich wie die Tropfen in einer Wasserfontäne - im Vakuum einen Meter hoch katapultiert werden.

Uhrensaal der PTB



die Cäsium-Uhr CS2 bei der PTB ist das Zeitnormal für die gesetzliche Zeit



Optische Wellenuhr

Zeit am Ball und auf Draht

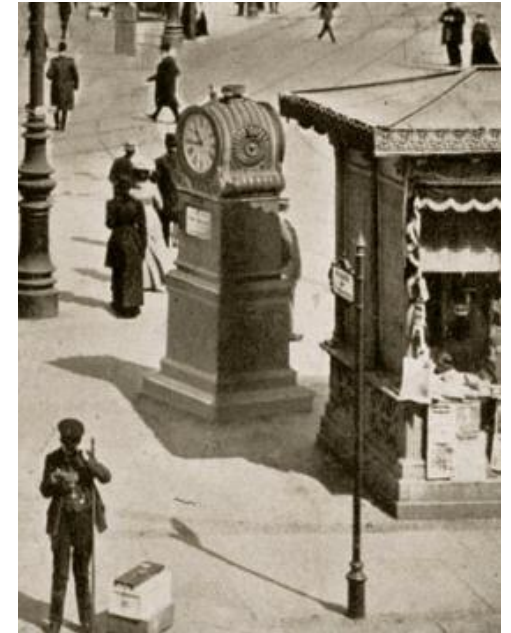
Die Observatorien waren damit betraut, anhand von Sterndurchgängen die gültige Normalzeit zu ermitteln. In Preußen wurde die Normalzeit von der Königlichen Sternwarte zu Berlin festgelegt. In Hamburg z. B. von der Seewarte.

Ab den 1860er Jahren standen erste praxistaugliche Systeme zur telegrafischen Verteilung von Zeitsignalen zur Verfügung. Im Hamburger Hafen wurde mittags mit dem elektrisch gesteuerten Fall eines „Zeitballs“, die GMT signalisiert.

Uhrenanlagen bestanden in der Regel aus einer Hauptuhr, die mehrere Nebenuhren steuerte. Eine Hauptuhr war meist eine präzise Pendeluhr, die über Elektrokabel mit Nebenuhren verbunden war.

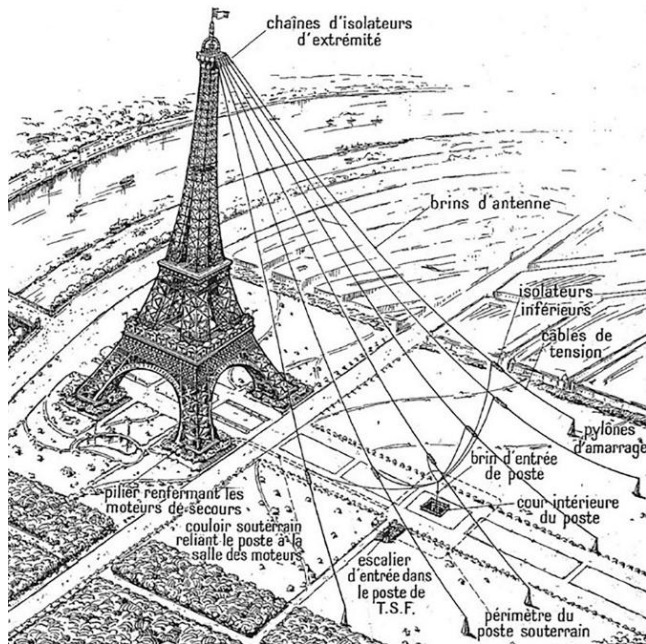
Eine zentrale Normaluhr diente auch als Referenz für alle Uhren in Bahnhöfen. Die Normalzeit wurde über telegrafische Zeitsignale an die Bahnhöfe verteilt, um lokale Zeitunterschiede zu eliminieren.

Schon kurz nach der Erfindung der drahtlosen Telegraphie durch Marconi schlug der Ingenieur Howard Grubb 1898 die Übertragung von Zeitzeichen mit „Marconiwellen“ vor.




Sekundengenaue Normaluhr der ersten Generation Berlin, 1909. Alle zwei Sekunden erhielten die Pendel der öffentlichen Uhren von der Präzisionsuhr in der Sternwarte einen elektrischen Impuls.

Zeitaussendungen über Funk



1910 wurden 6 Antennendrähte von der oberen Plattform des Eiffelturms gespannt. Ein Löschfunktensender mit 40 kW Leistung sendet auf einer Wellenlänge von 2000m Zeitzeichen für die Marine. Die Signale konnten über 5000 km Entfernung aufgenommen werden. Ab dann war der Eiffelturm militärisch wichtig und sein Bestand wurde für weitere 70 Jahre verlängert. www.toureffel.paris

- 1905 Zeitaussendungen des US-Naval Observatory aus Arlington auf 2500 m
- 1907 Regelmäßige Zeitsendungen der kanadischen Station VCS aus Halifax
- 1910 „FL“ Zeitsignale des „Bureau des Longitudes“ vom Eiffelturm für die Seefahrt zur Korrektur der Chronometer auf Wellenlänge 2000 m, 40 KW
- 1910 Zeitsignale der Deutschen Seewarte Hamburg aus Norddeich 3100 m
- 1913 Internationale Festlegung auf das O N O G O Zeitsignal in Morsecode
- 1919 ONOGO Zeitaussendungen aus Nauen um 01 und 13 Uhr auf 1830 m
- 1924 Die BBC sendet das berühmte 6-Pip Signal aus wobei die ersten 5 Pip die Sekunden bis zum relevanten 6. Peep runterzählen (Greenwich Zeit) 
- ab 1930 zusätzlich zu ONOGO ein genaueres „Koinzidenzsignal“. Erkenntnis dabei: Nauen, Rugby, Bordeaux mit Zeit-Abweichungen bis zu +/- 0,05 s

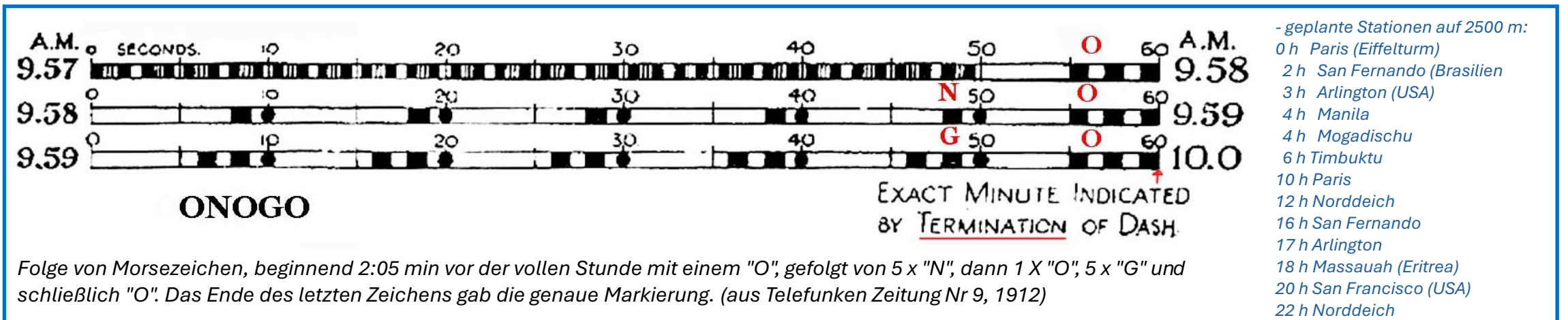
O – N – O – G – O

Internationale Zeitkonferenz Paris, Oktober 1912:

Das ONOGO-Zeitsignal wird als internationale Norm für Zeitaussendungen vereinbart. Die Zeit des Meridians von Greenwich ist maßgebend. Die exakte Zeitbestimmung erfolgt durch ein zu schaffendes internationales Zeitbüro in Paris.

Die Wahl der die Zeitsignale aussendenden Radiostationen soll so getroffen werden, daß man auf jedem Punkte der Erde wenigstens einmal am Tage und in der Nacht die Signale aufnehmen kann.

Die Festlegung derjenigen Radiostationen, von denen die regelmäßige Zeitabgabe zu erfolgt durch das internationale Zeitkomitee, bestehend aus Delegierten der Staaten.



Folge von Morsezeichen, beginnend 2:05 min vor der vollen Stunde mit einem "O", gefolgt von 5 x "N", dann 1 X "O", 5 x "G" und schließlich "O". Das Ende des letzten Zeichens gab die genaue Markierung. (aus Telefunken Zeitung Nr 9, 1912)

BRD Zeitgesetz 1978

„Die gesetzliche Zeit ist die mitteleuropäische Zeit. Diese ist bestimmt durch die koordinierte Weltzeit unter Hinzufügung einer Stunde.“

**Gesetz über die Zeitbestimmung
(Zeitgesetz – ZeitG) vom 25. Juli 1978**
Der Bundestag hat das folgende Gesetz beschlossen:

§ 1 – Gesetzliche Zeit

(1) Im amtlichen und geschäftlichen Verkehr werden Datum und Uhrzeit nach der gesetzlichen Zeit verwendet.

(2) Die gesetzliche Zeit ist die mitteleuropäische Zeit. Diese ist bestimmt durch die koordinierte Weltzeit unter Hinzufügung einer Stunde.

(3) Die koordinierte Weltzeit ist bestimmt durch eine Zeitskala mit folgenden Eigenschaften:

1. Sie hat am 1. Januar 1972, 0 Uhr, dem Zeitpunkt 31. Dezember 1971, 23 Uhr 59 Minuten 59,96 Sekunden, der mittleren Sonnenzeit des Nullmeridians entsprochen.
2. Das Skalenmaß ist die Basiseinheit Sekunde nach § 3 Abs. 4 des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen vom 2. Juli 1969 (BGBl. I S. 709), zuletzt geändert durch Artikel 287 Nr. 48 des Gesetzes vom 2. März 1974 (BGBl. I S. 469), in Meereshöhe.

3. Die Zeitskala der koordinierten Weltzeit wird entweder durch Einfügen einer zusätzlichen Sekunde oder durch Auslassen einer Sekunde mit einer Abweichung von höchstens einer Sekunde in Übereinstimmung mit der mittleren Sonnenzeit des Nullmeridians gehalten.

(4) Für den Zeitraum ihrer Einführung ist die mitteleuropäische Sommerzeit die gesetzliche Zeit. Die mitteleuropäische Sommerzeit ist bestimmt durch die koordinierte Weltzeit unter Hinzufügung zweier Stunden.

§ 2 – Darstellung und Verbreitung der gesetzlichen Zeit

Die gesetzliche Zeit wird von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt dargestellt und verbreitet.

Anhang 3

**Verordnung über die Einführung der mitteleuropäischen Sommerzeit ab dem Jahr 2002*
(Sommerzeitverordnung-SoZV)**

vom 12. Juli 2001

Auf Grund des § 3 des Zeitgesetzes vom 25. Juli 1978 (BGBl. I S. 1110, 1262), der durch das Gesetz vom 13. September 1994 (BGBl. I S. 2322) geändert worden ist, verordnet die Bundesregierung:

§ 1

Ab dem Jahr 2002 wird die mitteleuropäische Sommerzeit (§ 1 Abs. 4 des Zeitgesetzes) auf unbestimmte Zeit eingeführt.

§ 2

- (1) Die mitteleuropäische Sommerzeit beginnt jeweils am letzten Sonntag im März um 2 Uhr mitteleuropäischer Zeit. Im Zeitpunkt des Beginns der Sommerzeit wird die Stundenanzahl um eine Stunde von 2 Uhr auf 3 Uhr vorgestellt.
- (2) Die mitteleuropäische Sommerzeit endet jeweils am letzten Sonntag im Oktober um 3 Uhr mitteleuropäischer Sommerzeit. Im Zeitpunkt des Endes der Sommerzeit wird die Stundenanzahl um eine Stunde von 3 Uhr auf 2 Uhr zurückgestellt. Die Stunde von 2 Uhr bis 3 Uhr erscheint dabei zweimal. Die erste Stunde (von 2 Uhr bis 3 Uhr mitteleuropäischer Sommerzeit) wird mit 2A und die zweite Stunde (von 2 Uhr bis 3 Uhr mitteleuropäischer Zeit) mit 2B bezeichnet).

Die PTB verbreitet die gesetzliche Zeit über DCF77



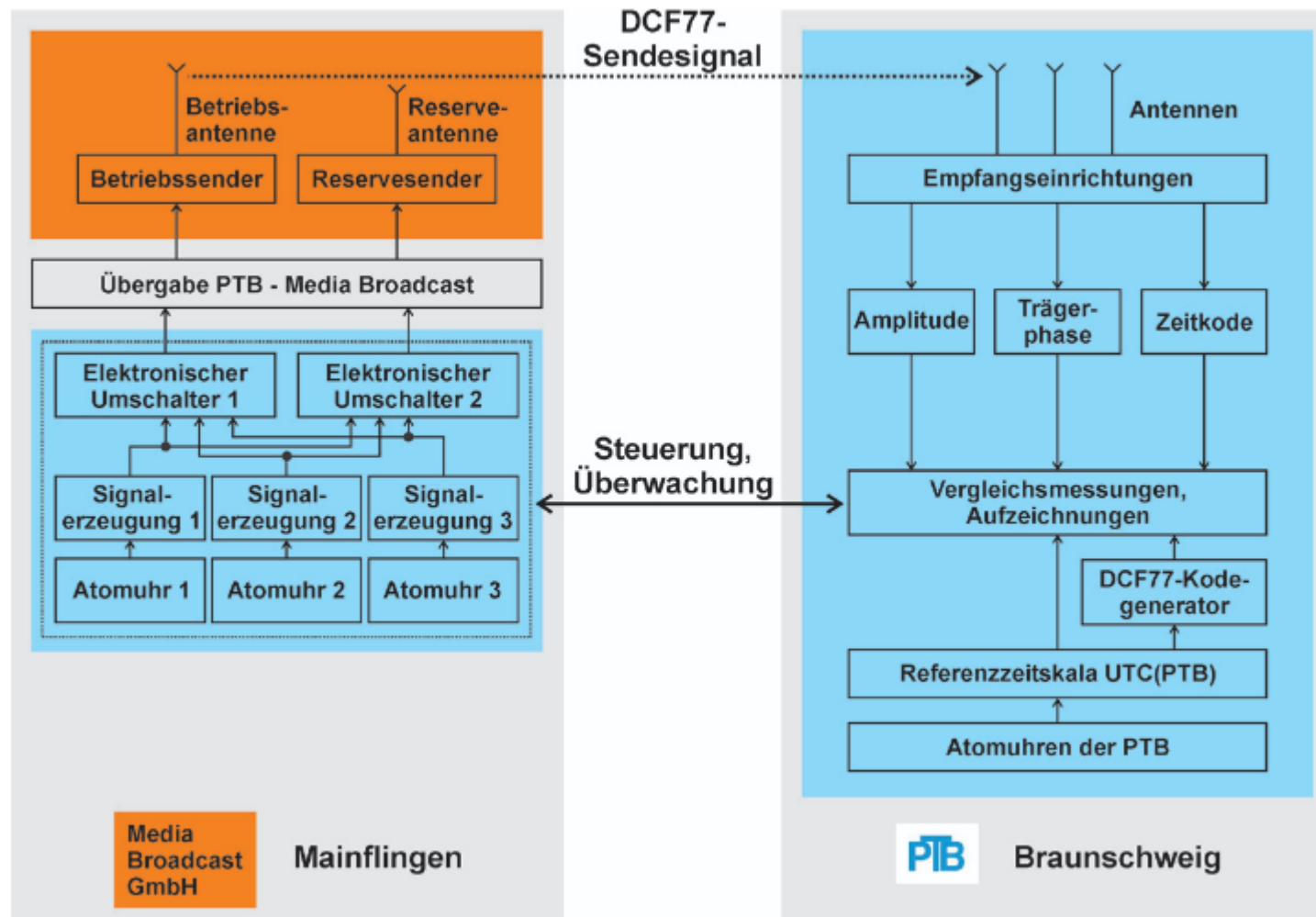
DCF77 ist das Rufzeichen eines Langwellensenders bei Mainflingen / Zellhausen nahe Frankfurt am Main. Er dient der Verbreitung der gesetzlichen Zeit der Bundesrepublik Deutschland.

Die Anlage wurde 1959 von der Bundespost als Normalfrequenz-Sender errichtet und wird seit 2007 von „Media-Broadcast“ im Auftrag der PTB Braunschweig betrieben. Seit 1973 wird digital kodiert die gesetzliche Zeit übertragen.

Steuergerät der PTB am Sender Mainflingen. In Racks 1–3 sind HP5071A Cäsium Atomnormale, Signalgeber und elektronische Umschalter. Rack 4 die Kommunikation mit Braunschweig. Rack 5 die Einspeisung der Abo-Wetterinfo-Datenbits.

Die hochkonstante Trägerfrequenz des Zeitsignals beträgt 77,5 kHz . Sie weicht am Sendeort im Mittel über einen Tag weniger als relativ $1 \cdot 10^{-12}$ /Tag von dem durch die primären Atomuhren der PTB vorgegebenen Sollwert ab.

Blockschaltbild Steuer- und Sendeeinrichtung



Normfrequenz und Zeitsignal werden vor Ort am Sender Mainflingen in einer Steueranlage der [Physikalisch-Technischen Bundesanstalt \(PTB\)](#) erzeugt und an Media-Broadcast zur Ausstrahlung übergeben.

Die Aussendung der Zeitinformation wird von Atomuhren der PTB überwacht, verglichen und korrigiert.

Der Langwellensender auf 77,5 kHz



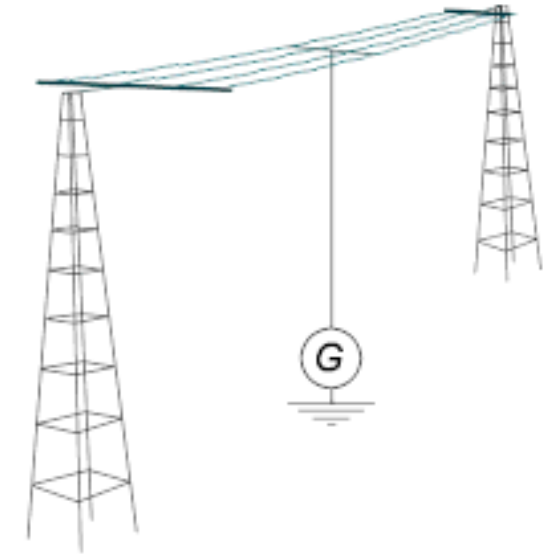
Seit 1998 dient ein 50-kW-Halbleitersender TRAM 50 von Transradio (ehemals Telefunken Sendertechnik) als Betriebssender. Er besteht aus 48 parallel geschalteten Transistor-Modulen mit je reichlich 1 kW Ausgangsleistung.

Der zuvor verwendete 50-kW-Röhrensender steht weiterhin als Ersatzsender bereit. Er ist mit einer Ersatzantenne verbunden, auf die im Störfall oder bei Wartungsarbeiten am Betriebssender oder -Antenne, umgeschaltet werden kann.

Beide Sendeantennen sind vertikale T- Rundstrahlungsantennen mit Dachkapazität. Die Ersatzantenne ist 200 m hoch. Die Betriebsantenne hat nur eine Höhe von 150 m, verfügt zum Ausgleich aber über eine größere Dachkapazität.

Beide Antennen strahlen etwa die gleiche Leistung ab und befinden sich benachbart auf dem gleichen Antennenfeld der Sendefunkstelle. Es wird geschätzt, dass die abgestrahlte Leistung ERP (Equivalent Radiated Power) bei etwa 30 kW liegt. Der Versorgungsradius liegt bei über 2000 km.

T-Antenne für 77,5 kHz



Ein vertikaler Bündelleiter in der Mitte ist der Strahler.
150 – 200 m hohe Masten tragen die Dachkapazität aus sechs parallelen Seilen.
Strahlungswiderstand: $2,55 \Omega$.

Die Antennen

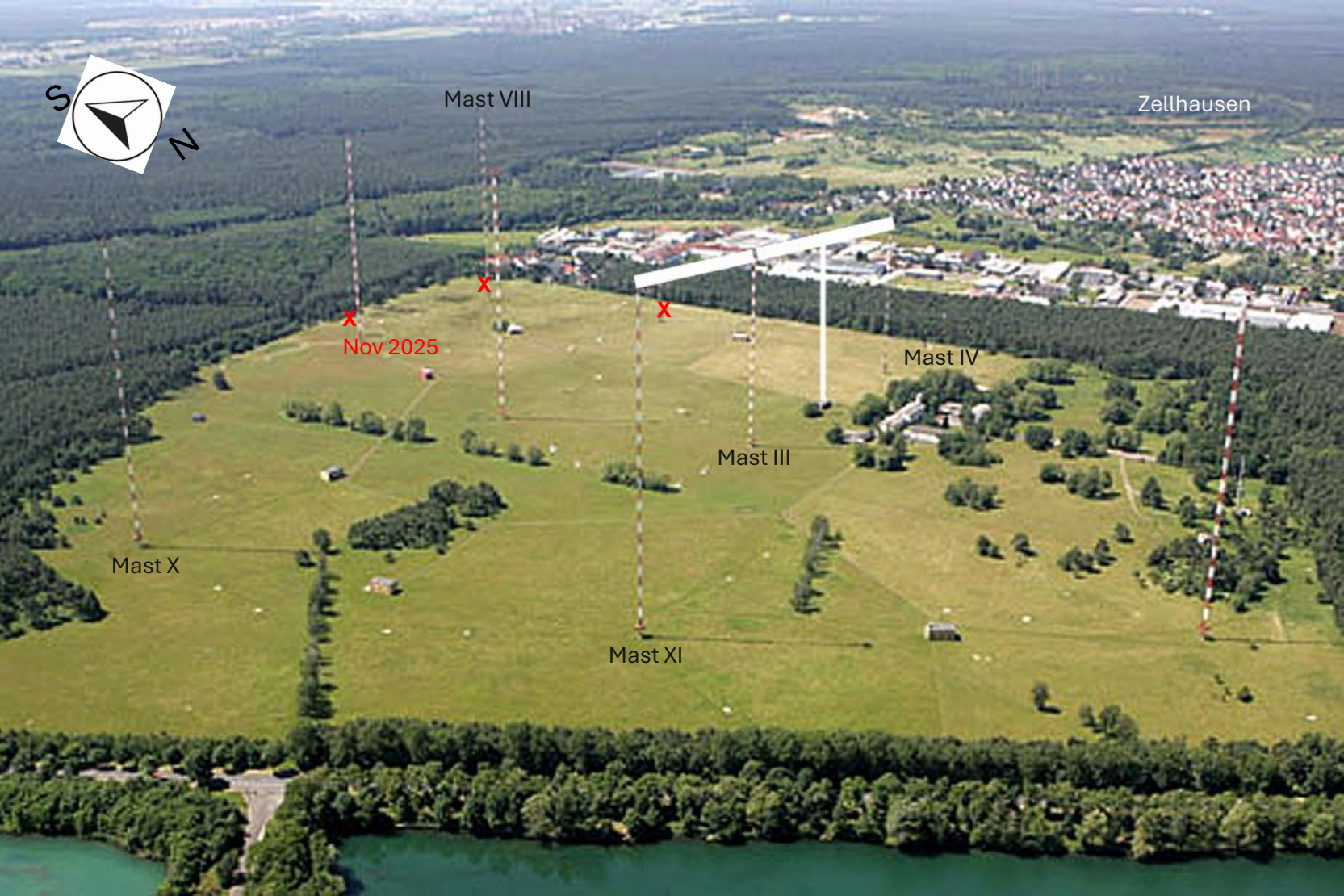


Bei Sturm und dadurch stark bewegter Antenne muss der Sender vorübergehend abgeschaltet werden, da die Auslenkung zu einer Fehlanpassung (VSWR) führt.

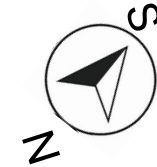
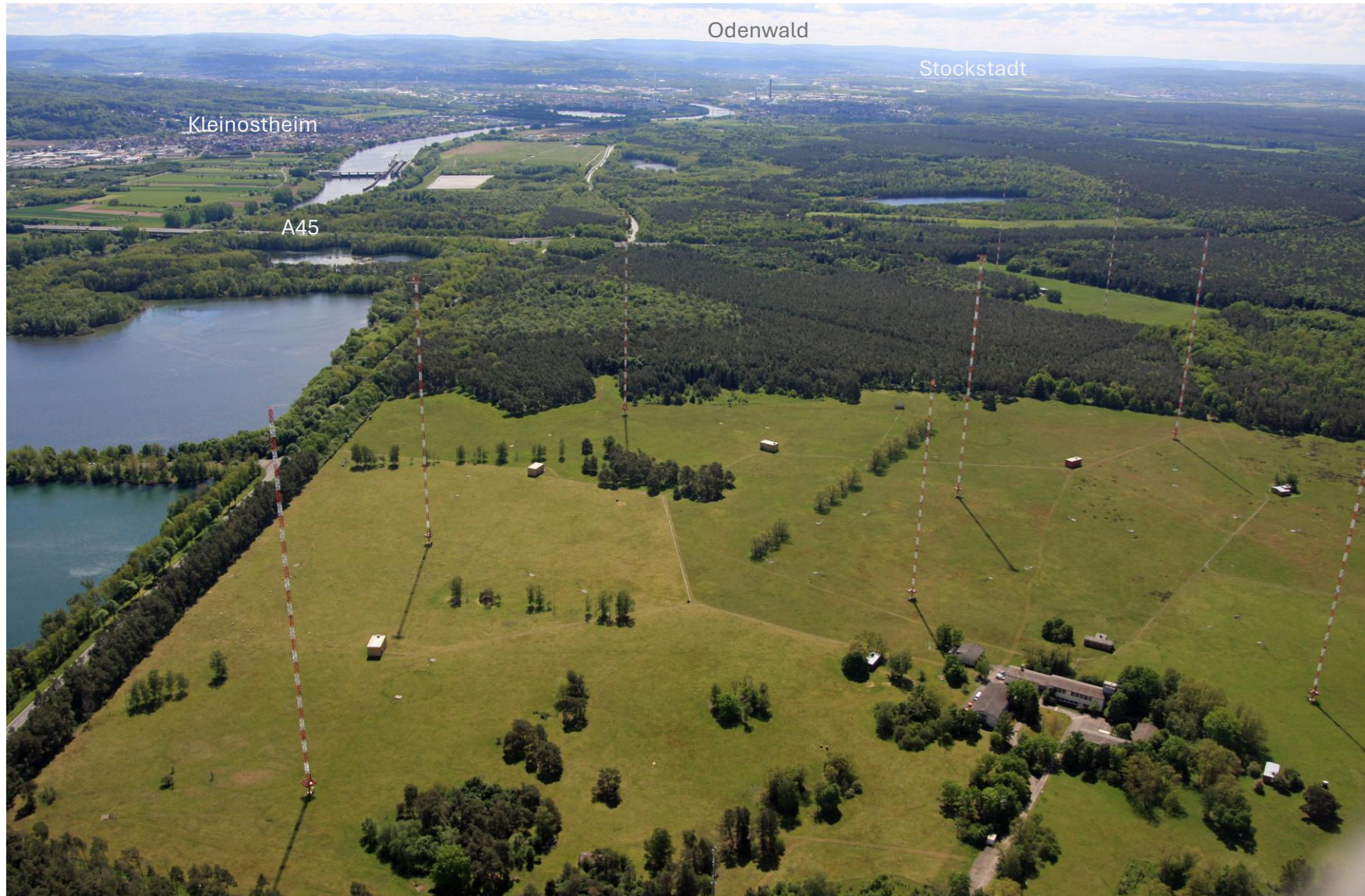
Die Bewegung der T-Antenne bei Starkwind verursacht zudem eine ungewollte Phasenmodulation.

Der 50 KW Sender strahlt vertikal polarisiert und nahezu kreisrund ($\pm 2\text{dB}$) mit einer ERP von ca. 30 KW. Wesentlich dafür ist ein aufwändiges Erdungsnetz im feuchten Boden.

Haupt-Antennenfeld



Mainflingen Sendefunkstelle der Media -Broadcast



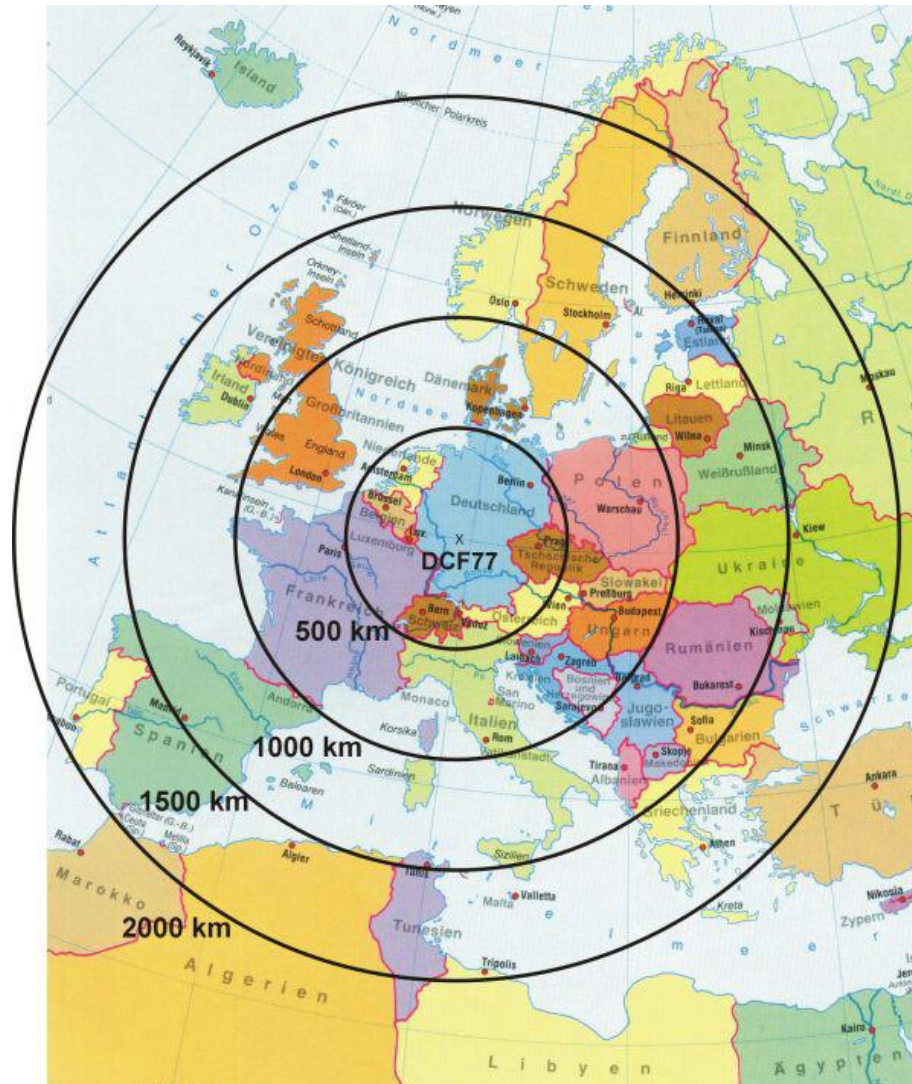
DCF77

PTB - Zeitsignal
77,5 kHz 50 kW
30 KW ERP

DCF49

Funkrundsteuerung
129,1 kHz 100 kW

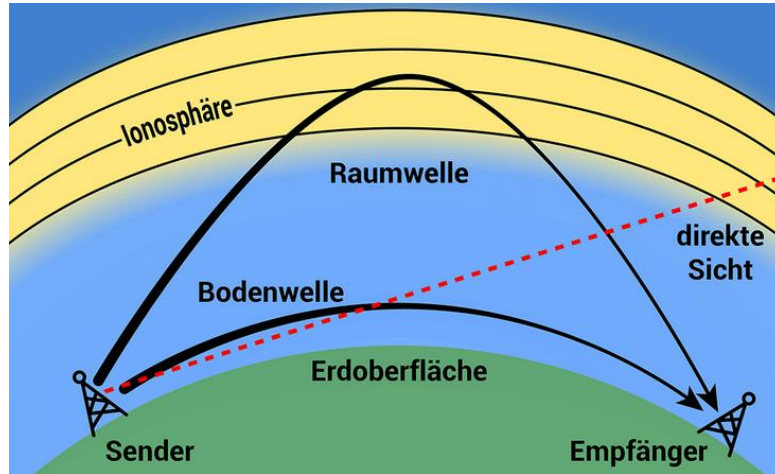
So weit funkt DCF 77



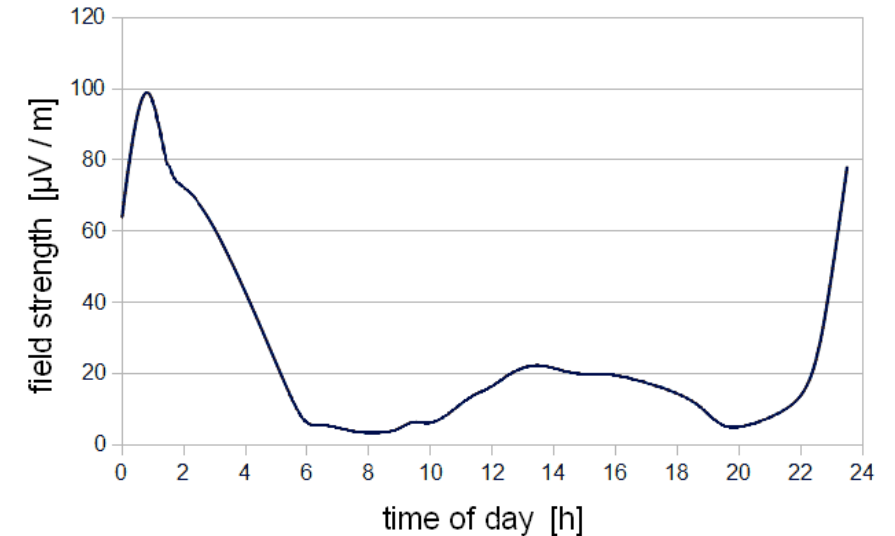
Geschätzt bber 100 Millionen Funkuhren werden von DCF77 synchronisiert.

$DL0WH > DCF77 = 30^\circ$ (NNO) 57 km

DCF77 Ausbreitung



Längstwelle Reflexion
an der D- und nachts
an der E-Schicht in
ca 40 - 100 km Höhe

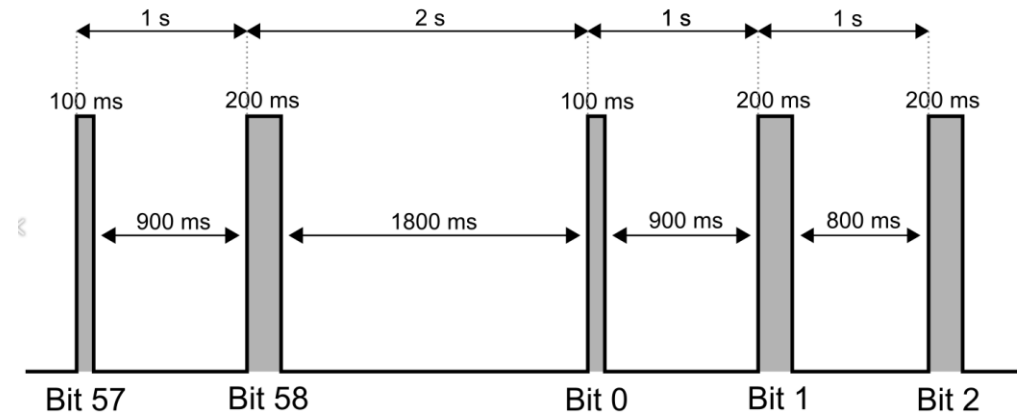


Bis zu einer Entfernung von etwa 600 km ist das Signal als Bodenwelle zu empfangen. Ab etwa 1100 km überwiegt die Raumwelle durch Reflexion an der D-Schicht. Besonders im Abstand von 600 km bis 1100 km vom Sender kann es gelegentlich bei gleichen Feldstärken von Boden- und Raumwelle zur Auslöschung des Signals kommen (Fading mit Schwabung von 15 min Dauer und mehr).

Die Sollreichweite beträgt 2000 km. In dieser Entfernung können empfindliche Empfänger tageszeitabhängig noch ein ausreichendes Signal empfangen.

DCF77 Signalstärke, gemessen in Nerja an der Costa del Sol nahe Malaga, Andalusien; 1.801 km vom Sender in Mainflingen entfernt. Ab etwa 1100 km überwiegt die Raumwelle, die auch am Tage stabile Empfangspegel verursacht.

Das DCF 77 Zeitsignal



Die Informationen werden übertragen, indem das Funksignal einmal pro Sekunde für entweder 100 oder 200 Millisekunden auf 25 Prozent abgesenkt wird. (Pulsweitenmodulation)

Eine Absenkung für 100 Millisekunden bedeutet eine „0“,

200 Millisekunden bedeutet eine „1“.

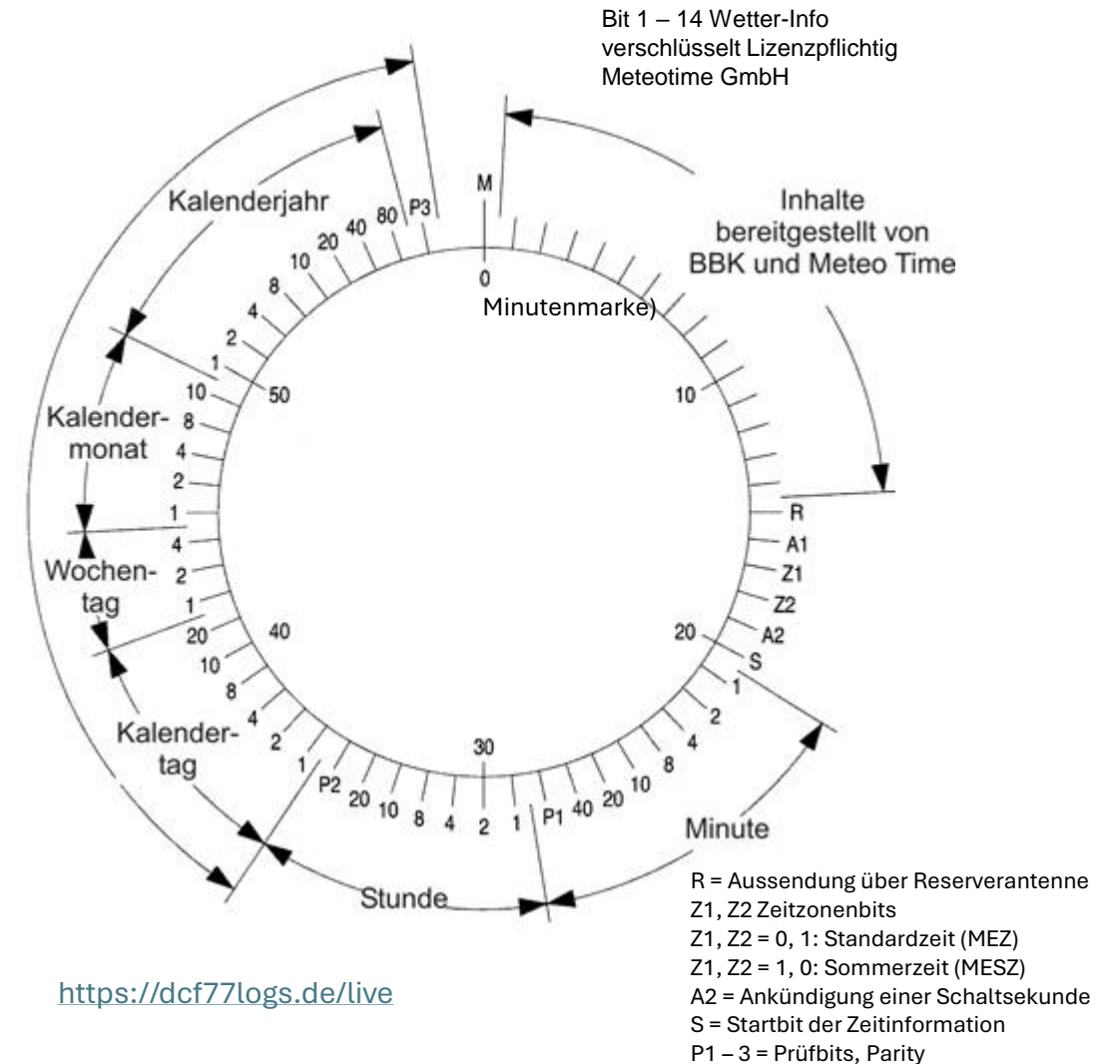
Eine Sequenz beträgt eine Minute. Damit würden 60 Bit übertragen, allerdings wird das letzte Bit weggelassen, um die Sequenzen eindeutig voneinander zu trennen.

Tickst du noch ganz richtig ?

Die unterschiedliche Dauer der aufmodulierten Sekundenmarken dient seit 1973 zur binären Kodierung von Uhrzeit und Datum:

Sekundenmarken mit einer Dauer von 0,1 s entsprechen der binären Null und solche mit einer Dauer von 0,2 s der binären Eins

Einmal während jeder Minute werden die Nummern von Minute, Stunde, Tag, Wochentag, Monat und Jahr BCD-kodiert übertragen (BCD: Binary Coded Decimal, jede Stelle einer Zahl wird separat kodiert). Vom Kalenderjahr werden nur die Einer- und Zehnerstelle übertragen, das Jahr 2004 also als 04. Der ausgesendete Code enthält jeweils die Information für die folgende Minute.



Die Daten-Bits - zeitliche Abfolge

innerhalb jeder Minute werden in Sekundenimpulsen codiert die komplette Zeitinformation einschließlich Uhrzeit, Datum und Wochentag übertragen.

Farben:

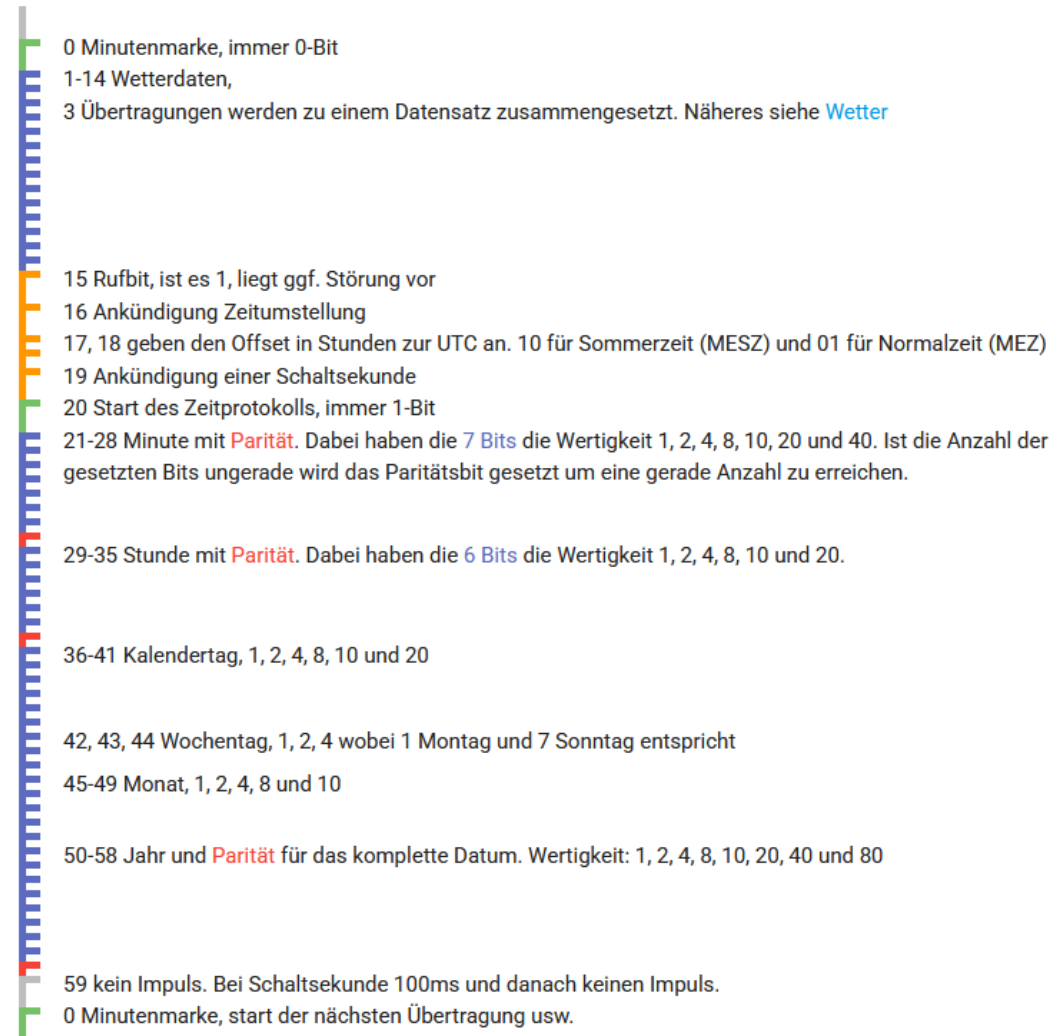
Statische Bits/Marker

Nutzdatenbits

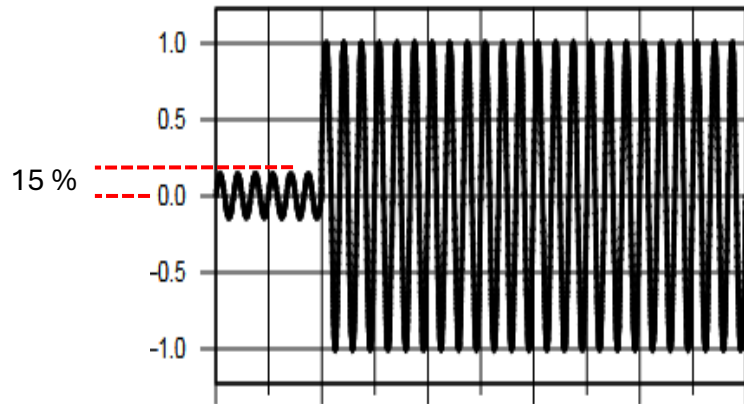
Steuer/Kontrollbits

Paritätsbits

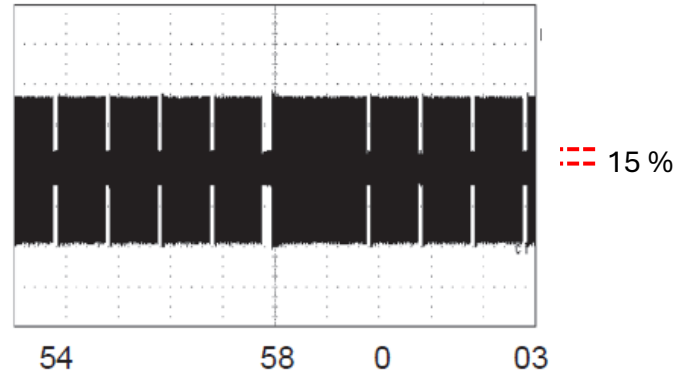
Kein Puls/Schaltsekunde



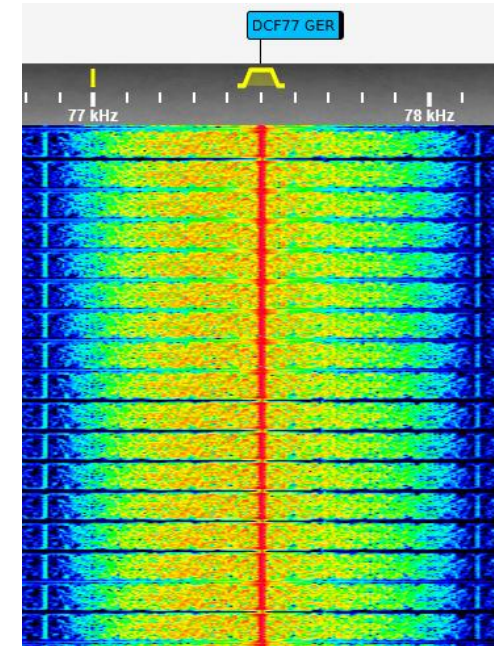
Zeitzeichen in Amplitudenmodulation AM



Prinzipdarstellung einer Amplitudenmodulation mit Rechtecksignal und 15 % Rest-Träger



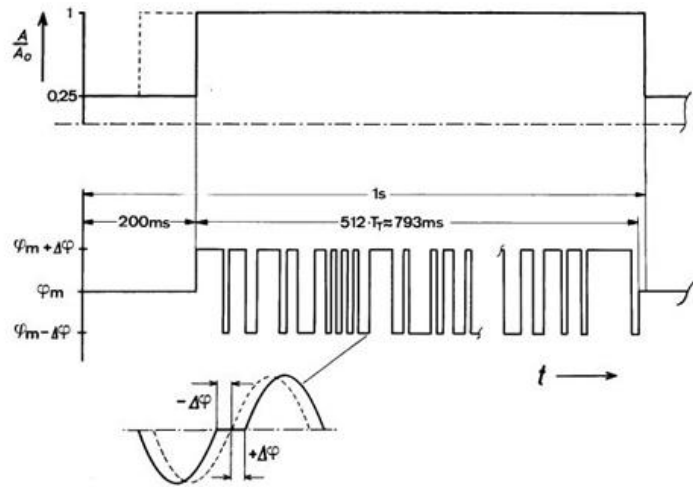
DCF77 Sekundenmarken
Die Amplitude der DCF77 Trägerschwingung mit rechteckigen Sekundenmarken moduliert



Wasserfalldarstellung des DCF 77 Signals am [DL0WH Web-SDR](#)

Zu Beginn jeder Sekunde, mit Ausnahme der letzten Sekunde jeder Minute - als Kennung für den folgenden Minutenbeginn - wird die Amplitude für die Dauer von 0,1 s oder 0,2 s phasensynchron mit der Trägerschwingung auf etwa 15 % (vormals 25 %) abgesenkt. Die Restträger-Amplitude ermöglicht im Empfänger die Gewinnung einer kontinuierlichen Trägerschwingung (PLL) und soll die Nutzung des DCF77-Trägers als Eichfrequenznormals erleichtern. Die unterschiedliche Dauer der Sekundenmarken dient zur binären Kodierung von Uhrzeit und Datum. Die Genauigkeit einer einfachen DCF77 AM-Funkuhr liegt bei typ.0,1 s.

Phasenmodulation für höhere Genauigkeit



Amplitudenverlauf (oben) und Phasenverlauf des DCF77 Signals während einer Sekunde;

A/A_0 : relative Amplitude (AM), φ_m mittlerer Phasenwert, $\Delta\varphi$ Phasenhub der PM

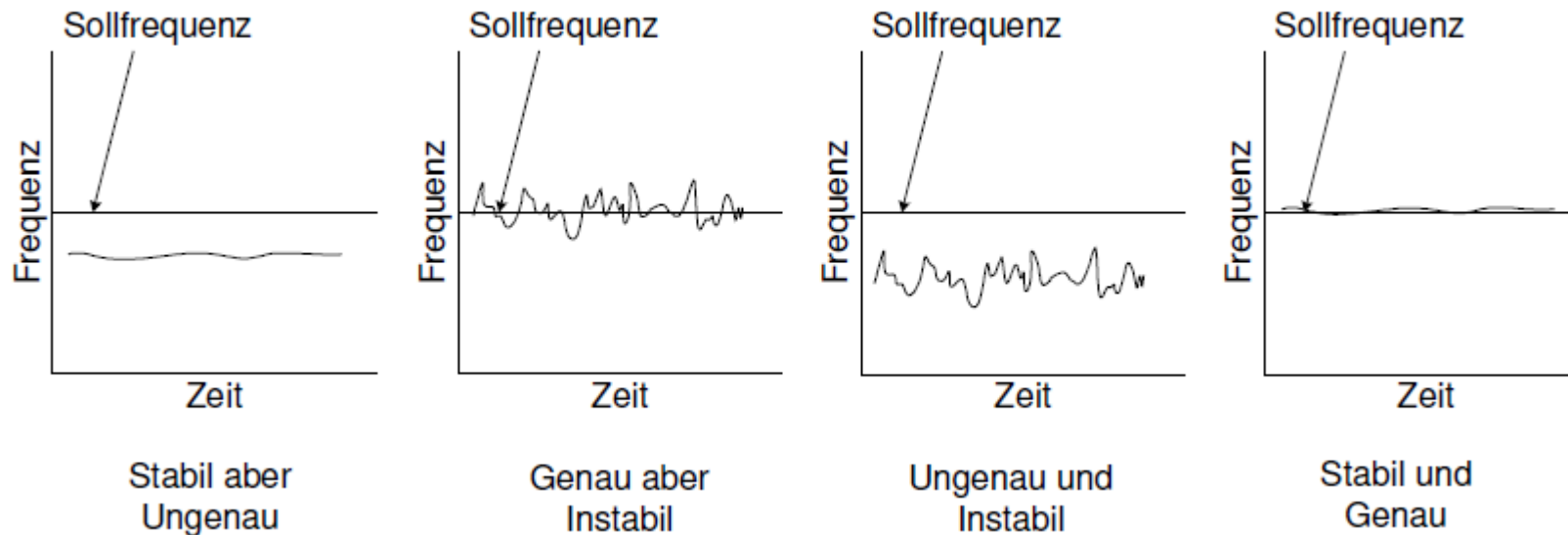
Das Trägersignal von 77,5 kHz ist in Frequenz und Phasenwinkel mit der primären Atomuhr synchronisiert

Parallel zur Amplitudenmodulation (AM) wird seit 1983 dem Träger von DCF77 ein pseudozufälliges Phasenrauschen aufmoduliert. Dazu wird die Phase entsprechend einer binären Zufallsfolge um den Phasenhub $\pm 15,6^\circ$ umgetastet (PSK). Empfangsseitig lässt sich die verwendete Pseudozufallsfolge reproduzieren und mit dem im empfangenen DCF77 Signal enthaltenen Phasenrauschen kreuzkorrelieren. Dieses aus der Satellitentechnik stammende Verfahren ermöglicht eine Zeitbestimmung mit einer Genauigkeit von wenigen Mikrosekunden und ist daher der herkömmlichen AM-Empfangstechnik weit überlegen.

Eine professionelle DCF77 Funkuhr, die neben der Amplitudenmodulation auch die Phaseninformation auswertet hat eine Zeit-Genauigkeit von ca. 6 - 25 μs (abhängig von den Ausbreitungsbedingungen).

Genauigkeit und Stabilität ..

..sind nicht das Gleiche



Die von DCF77 abgestrahlte Norm-Frequenz ist genau, aber wegen der wechselnden Ausbreitungsparameter auf Langwelle am Empfangsort nicht sehr stabil; zumindest nicht über kurze Zeiträume. Die Langzeitstabilität (relative Genauigkeit / Allan Deviation), über einen Zeitraum gemittelt, ist hoch. Gemittelt über einen Tag beträgt sie 1×10^{-12} , gemittelt über 100 Tage bis 1×10^{-13} .

DCF-77 Frequenznormale



Schomandl OCXO mit DCF-77 Empfänger, (ca. 1990), $2h 10^{-10}$



R & S Rubidiumfrequenznormal mit DCF-77 Empfänger XKE-2



10 MHz – Frequenznormal mit DCF-77 Synchronisation 090529 („Funkamateu“ 2009)



Schwille Frequenznormal mit DCF-77 Korrektur

selbststellende Empfängeruhren

Digital Timecode in AM-Pulsweitenmodulation in USA bei WWVB ab 1965.

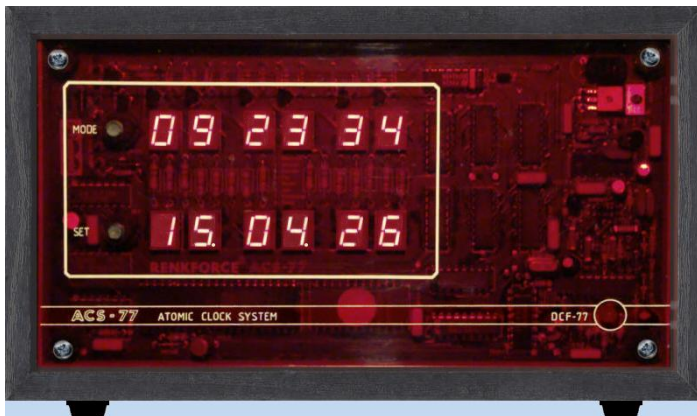
In DE: 1967 meldete Wolfgang Hilberg ein „Verfahren zur laufenden Übermittlung der Uhrzeit“ zum Patent an. Ein Nachteil war, dass kontinuierliche Zeitimpulse abgestrahlt werden mussten, die lückenlos vom Empfangsgerät aufzunehmen waren, um das Uhrwerk zu bewegen. Diese Schwäche beseitigte er 1970 in einem zweiten Patent, wobei die vollständige Information der gerade bestehenden Normalzeit kontinuierlich in einem Impulscodex gesendet wird. Hilberg, mittlerweile Prof. an der TU Darmstadt versuchte Lizenzverträge mit der Uhrenindustrie abzuschließen – ohne Erfolg. Er gilt heute als ein Pionier der Funkuhr.

DCF77 als Normfrequenzsender sendete zwar schon ab 1959, aber ohne regelmäßige Zeitsignale codiert mit Datum und Uhrzeit. Hilbergs Idee einer permanenten Zeitinfo-Übertragung fand schließlich Beachtung bei der Aussendung des jetzigen DCF77-Zeitsignals ab Juni 1973. Zehn Jahre später wurde zur Steigerung der Genauigkeit noch die parallele Phasenmodulation der DCF77 Trägerfrequenz implementiert.

Zu Beginn der Aussendung des Zeitkodes über DCF77 gab es dazu passende Funkuhren nur als Prototypen der PTB oder teure Einzel-Entwicklungen für Profi-Anwender. Die PTB veröffentlichte 1974 ihre Schaltungstechnik. In Folge gab es bald Bauanleitungen mit TTL IC z. B. von [Reinhard Weiß](#) (Funkschau 1976), die Verbreitung unter versierten Bastlern fanden. Funkuhren für den Massenmarkt kamen erst Jahre später.

Frühe industrielle Funkuhren

Firmen wie Meinberg, Schwille und insbesondere Hopf konzentrierten sich früh auf DCF77 Technik für professionelle Anwender wie Behörden, Eisenbahn, Kraftwerke, Medien und Rechenzentren. Erst Mitte der 80er gab es erschwingliche Funkuhren für Privatanwender.



P. Walder, www.acs-77.de

Kult-Funkuhr [Auerswald ACS-77](#) mit 280 µC. 1984 im Handel.

Als Modul-Kit oder betriebsfertig. Vertrieb Fa. Völkner unter der Handelsmarke „Renkforce“

Unsere Funkuhr zum Sensationspreis!

RENKFORCE® – Atomic-Clock-System »ACS-77«:

- Zeitabweichung 1 sec. in 300000 Jahren!
- 12stellige Anzeige für Zeit und Datum gleichzeitig
- Funkgesteuert durch Sender „DCF-77“ – kein Stellen mehr!
- Anmelde- und gebührenfrei nach Amtsblatt 34
- Quarzeitbasis überbrückt Empfangsstörungen
- Anschlußmöglichkeit für elektronischen Stundengong und ASCII-Steuerung für Microcomputer
- 32 Termine beliebig programmierbar, sekundengenau auf Jahre im voraus, zwei getrennte Relaisausgänge
- Eingebautes Ladegerät für nachrüstbare Notstrom-Versorgung hält bei Stromausfall alle Schaltzeiten

Betriebsfertig montiert in schwarzem Holzgehäuse mit Steckdosen. BxHxT: 220x125x150 mm DM 398,-

Sofort einsatzbereit!

Fertigbaustein »ACS-77« mit Anleitung (Abm. 104x198 mm) DM 219,-

Gehäuse 69,50 Netztrafo 10,90
Relais 4,90 Gong-IC 11,90

Völkner electronic 3300 Braunschweig
Telefon (0531) 87001

Antenne für DCF-77

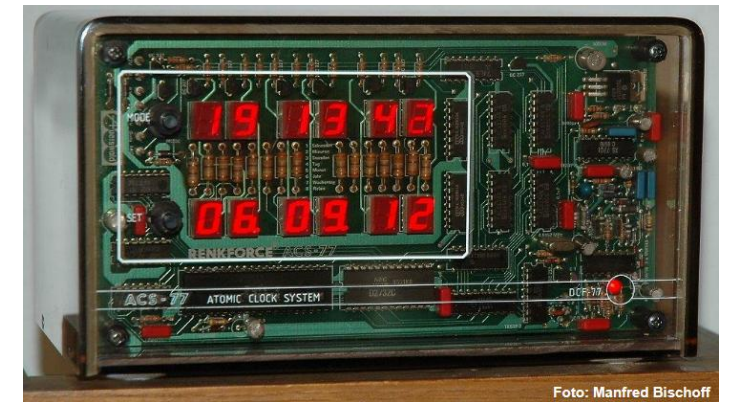


Foto: Manfred Bischoff

Quelle: <https://www.manfred-bischoff.de>



Foto: Manfred Bischoff

Industriestandard DCF-77 Funkuhren



Meinberg NTP-Zeitserver GPS + DCF77 backup



Meinberg DCF77
PM-Korrelations Empfänger



Hopf DCF77 Einschubkassette für
Zeitserver Rack



Gude NTP-Zeitserver



Meinberg NTP-Zeitserver
Für Hutschiene



DCF77 Antenne/
Empfangsmodul
für billige Consumer
Uhren (China)



Hager TXA023
DCF77 Wochenschaltuhr



DCF77
Ant./Funkempfänger
Output: 1s Impulse



ABB DY365
DCF77 Jahresschaltuhr

vermarktbar Consumer Funkuhren

In Folge der Miniaturisierung von Bauteilen und μ -Controllern wurde 1984 von der Firma Junghans aus Schramberg im Schwarzwald mit der Entwicklung einer Consumer-Funkuhr begonnen, die im Jahr 1986 unter der Bezeichnung RC-1 auf den Markt gebracht wurde. Private Funkuhren wurden ab dann zum Massenprodukt.



1986 - Junghans RC alarm 1
Preis: 149 DM



Bild: <https://www.hknebel.org>

1985 - Junghans RC1
Erste im Handel erhältliche
Funkuhr
Ladenpreis 980 DM



1990 Erste solar
Funk-Armbanduhr
Junghans
Mega 1solar

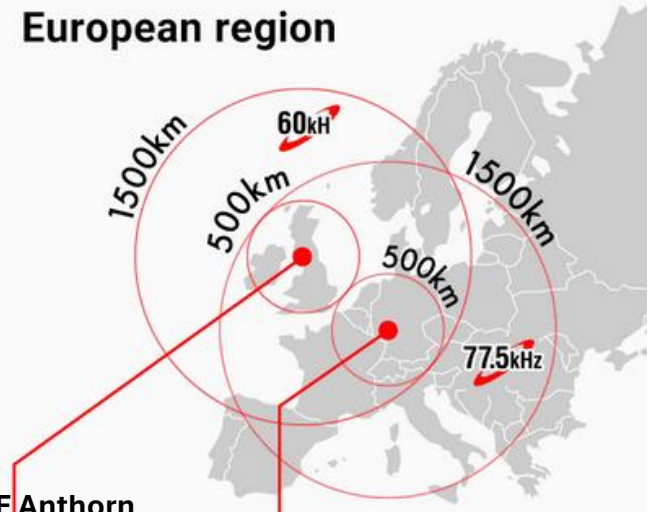


1986 – Kundo Space Timer
Kieninger & Obergfell
St. Georgen
Links Tischuhr
Rechts als Wanduhr



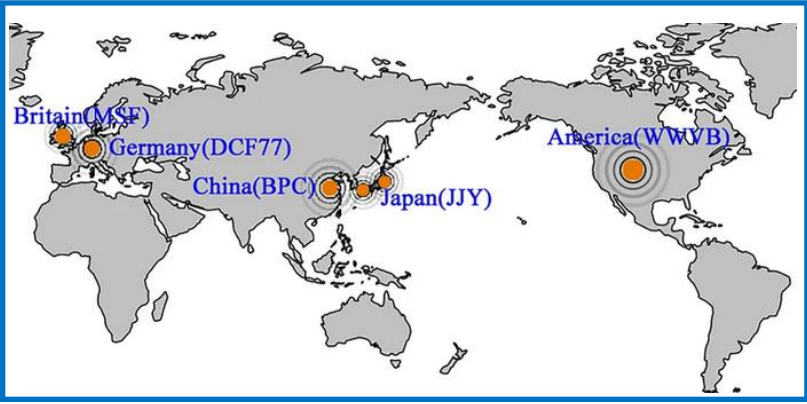
1990 Erste Funk-Armbanduhr
Junghans Mega 1.
*„one of the most momentous
horological events ever”*
Preis: ab 399 DM

Atomzeit auf Längstwelle

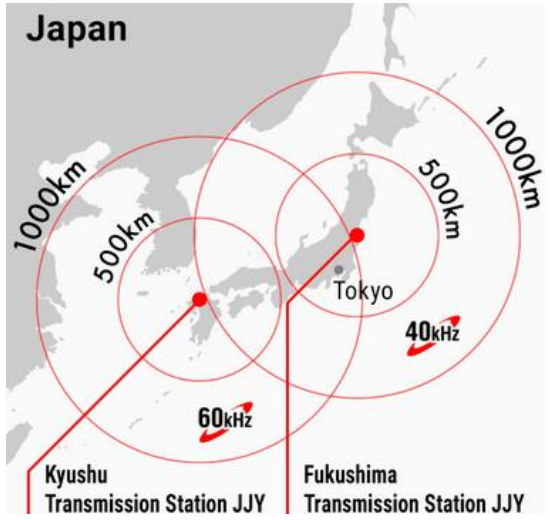


MSF Anthorn
NPL 17 kW ERP
bis 2007 in Rugby

DCF77 Mainflingen,
PTB 35 kW ERP

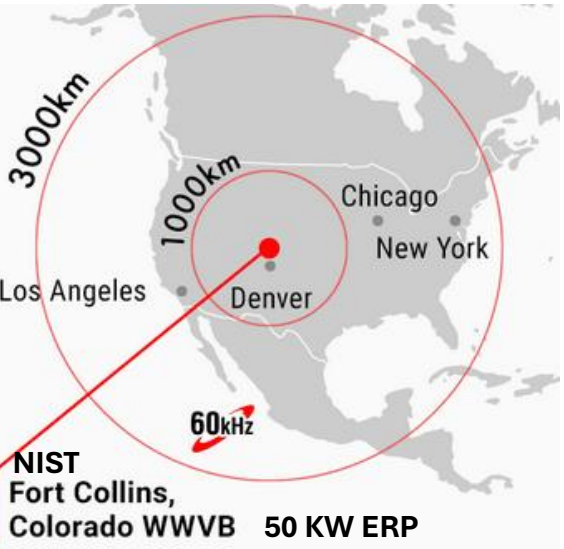


Atom-Zeit und Eichfrequenz Stationen



Kyushu Transmission Station JJY
23 kW ERP

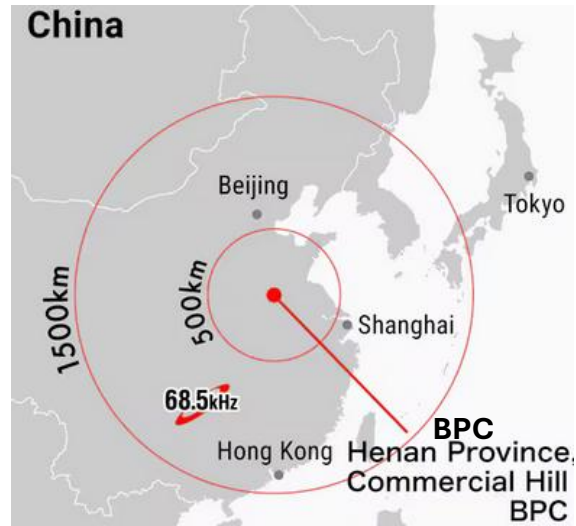
Fukushima Transmission Station JJY
13 kW ERP



NIST
Fort Collins,
Colorado WWVB 50 KW ERP



ALS162 Allouis, Frankreich auf Langwelle
162 kHz 800 kW in EMFD Phasenmodulation
Amtliche Zeit für SNCF, EVU, Kommunale
Einrichtungen, Firmen. Nur prof. Empfänger



Günter Fred Mandel 2026

Atomzeit am Handgelenk



Casio Wave Captor
5-Frequenz



Multifrequenz Armbanduhren für Normalzeit Sendestationen weltweit

DCF77 (Mainflingen, Germany) Frequency:
77.5 kHz Station, CET, UTC+1

MSF (Anthorn, England) Frequency: 60.0
kHz Station, GMT, UTC

WWVB (Fort Collins, United States)
Frequency: 60.0 kHz Station, PST, UTC-7

JJY (Fukushima, Fukuoka/Saga, Japan)
Frequency: 40.0 kHz (Fukushima) / 60.0 kHz
(Fukuoka/Saga) Station, JST, UTC+9

BPC (Shangqiu City, Henan Province,
China) Frequency: 68.5 kHz. CST, UTC+8



ATTESA Eco-Drive
Citizen
4-Frequenz



Junghans
4-Frequenz

Batteriebetriebene Consumer Funkuhren gehen um Strom zu sparen meist nur einmal pro Tag auf Empfang, um einen Abgleich mit dem ausgestrahlten Zeitsignal zu machen. Meist nach Mitternacht gegen 2 Uhr.

Zeitabweichung von Uhrentypen

Riefler
Präzisions-
pendeluhr
München
1890



Shortt Synchronome
NIST Zeitnormal 1929

Uhrentyp	Gang-Abweichung	f std. Abweichung
J. Harrisons H4 Chronometer	1 s in 1 -2 Tagen ??	
Riefler / Shortt Präzis.-Pendel	$\pm 0,005$ s bis $0,0002$ s / Tag	
Standard Quarzuhr	0,1 bis 1 s / Tag	± 2 ppm - ± 10 ppm
Quarzuhr Astronomie	$0,0005 - 0,0001$ s / Tag	1×10^{-9}
Standard Cäsiumuhr CS2	1 s in 3 Millionen Jahren	1×10^{-14}
Cäsium Fontänenuhr CSF2	1 s in 300 Millionen Jahren	1×10^{-16}
Optische Atomuhr Strontium	1 s in 30 Milliarden Jahren	1×10^{-18}
Funkuhren	Zeitl. Unsicherheit Impuls	
DCF77 AM	ca $\pm 5 - 150$ ms zur MEZ	Trägerfreq. 1×10^{-12}
DCF77 AM + Phase	$6,5 \mu\text{s}$ bis $25 \mu\text{s}$	Trägerfreq. 1×10^{-12}
GPS PPS-Impuls	besser als $\pm 1 \mu\text{sec}$	



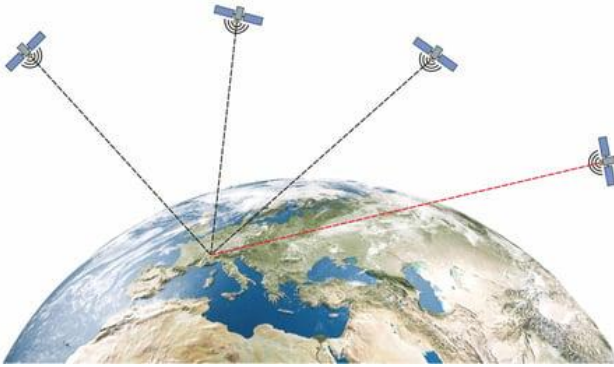
Harrison H4
um 1760



Casio F91W
kultig genau



GPS / GNSS Zeit



Aus der Laufzeitdifferenz von Signalen mehrerer Satelliten berechnet der Empfänger seinen genauen Ort. Der „Zeitstempel“ auf den GPS-Signalen muss dabei mit einer Genauigkeit von einer Milliardstel Sekunde aufgeprägt werden, um eine Ortsgenauigkeit von etwa einem Meter zu gewährleisten. Deshalb gibt es auf jedem GPS-Satelliten zwei Cäsium-Atomuhren mit einer Genauigkeit von 1×10^{-12} . Im Galileo System sind es Wasserstoff-Maser Uhren, die noch präziser sind.

Die GPS-Zeit GPST wird als Ganzzahl gesendet. Das Signal enthält die Anzahl der Sekunden seit dem ersten Einschalten der GPS-Uhren (Januar 1980). GPST unterscheidet sich von UTC derzeit um 19 Sekunden, da die Schaltsekunden vor 1980 nicht berücksichtigt sind. In einem Datenfeld wird die laufende Woche, die Zahl der vergangenen Sekunden der Woche (TOW) und die aktuelle Abweichung in Sekunden von der UTC gesendet.

Aus der GPS-Zeitinformation und den Laufzeiten wird im Empfängermodul die Zeitmarke (pps Pulse) mit einer Genauigkeit von $< \pm 1 \mu\text{sec}$ bis $\pm 10 \text{ ns RMS}$ (hi-End) zur UTC zusammengesetzt. Der Empfänger errechnet daraus durch Subtraktion eines Zeitoffsets und Korrektur der UTC-Schaltsekunden die lokale Zeit.

Praktische Genauigkeit (NMEA-Ausgabe): Bei serieller Auslesung der Zeitdaten liegt die Genauigkeit der Zeitinformation typischerweise im Bereich einiger Millisekunden bis zu einer Sekunde, abhängig von der Datenrate (Standard 1 Hz) und der Latenz der Software im Empfänger.

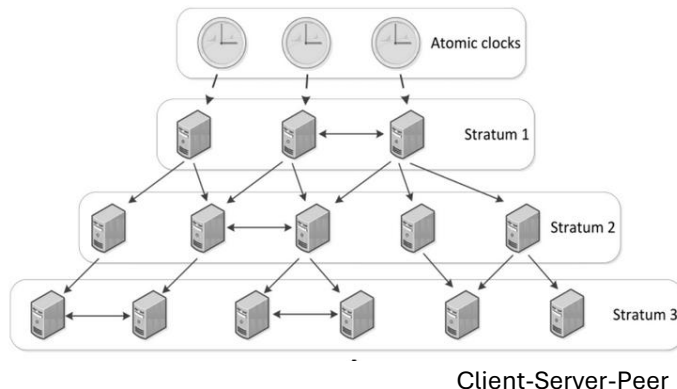
NTP – die Zeit übers Internet



Das [Network Time Protocol](#) (NTP) ist ein Standardprotokoll zur Synchronisierung der Uhrzeiten von Computersystemen über Netzwerke wie das Internet. Es stellt sicher, dass Geräte (Clients) ihre Systemzeit präzise an zentralen Zeitgebern (NTP-Servern) ausrichten.

NTP gleicht die lokale Systemzeit mit der koordinierten Weltzeit (UTC) ab. NTP Server sind hierarchisch in Ebenen (Strata) angelegt. Stratum 0 ist ein hochgenaues Zeitnormal. Stratum 1 ist der Server direkt am Zeitnormal.

NTP ist eine Zeitabfrage-Transaktion, bei der ein Client die aktuelle Uhrzeit von einem Server anfordert und dabei seine eigene Uhrzeit mit der Anfrage übermittelt. Der Server fügt seine Zeit dem Datenpaket hinzu und sendet es an den Client zurück. Wenn der Client das Paket empfängt, kann er zwei wichtige Informationen extrahieren: die Referenzzeit des Servers und die verstrichene Zeit, die ein Signal benötigt, um vom Client zum Server und zurück zu gelangen (Paketumlaufzeit), gemessen von der lokalen Uhr.



NTPv4 kann die lokale Systemzeit über das öffentliche Internet mit einer Genauigkeit von ± 10 Millisekunden halten. In lokalen Netzen bis $\pm 200 \mu\text{s}$.

Latenz – früher war mehr Lametta

Beim nächsten Ton des Zeitzeichens ist es 12 Uhr, 21 Minuten und 10 Sekunden... Piep. So klang die telefonische Zeitansage – und der Piep war verlässlich genau.

Echtzeit-genau auch der Sekundenzeiger der Fernsehuhren und der Gong vor der Tagesschau beim alten Analogfernsehen.



Medien mit ungenauerer Zeit als früher. Ein Rückschritt?

Digitale Signalverarbeitung braucht Zeit. Verzögerungen im TV hinter Echtzeit nach Empfangsweg:

SAT-TV (Satellit): ca. 2–6 Sekunden Verzögerung.

DVB-T2 (Antenne): ca. 1–2 Sekunden nach SAT.

Kabel (DVB-C): leicht verzögert gegenüber SAT.

IPTV (MagentaTV etc.): oft 12 bis über 20 Sekunden Verzögerung.

Streaming (Waipu, Zattoo, ARD-Mediathek): bis über 30 Sekunden (teilweise bis zu 60 Sekunden)

Tempus fugit – die Zeit vergeht



<https://www.youtube.com/watch?v=1pA9vgduChA>

Quellen und Referenzen

50 Jahre Zeitaussendungen mit DCF77_PTB Mitteilungen 3_2009

Bauch, Zeitmessung in der PTB 2012 PTBMitteilungen_125a

Wie tickt eine Atomuhr 2016_PTB-Mitteilungen_Heft_2_Sekunde

C. Audoin, B.Guinot, S. Lyle: *The measurement of time*. Cambridge University Press, Cambridge (2001)

Jonas von Beber, [“Endlich präzise über die Weltmeere”](#)

Johannes Beltz, [“Die Zeitumstellung, Geschichten und Hintergründe”](#)

Konrad Birkner, “Erste Zeitzeichensender”, www.radiomuseum.org

“Die Internationale Zeitkonferenz 2012, Telefunken Zeitung Nr. 9, 2012

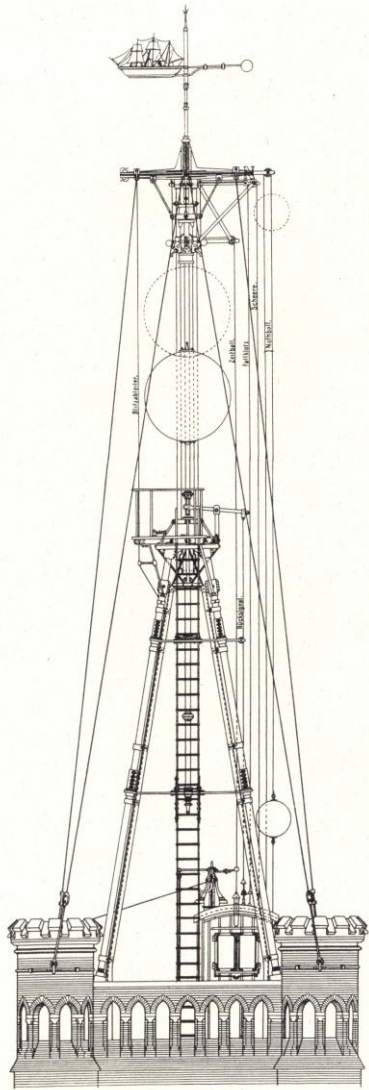
Zeit und Zeichen, Informationen über Turmuhren und verwandte Gebiete

Ublox Compendium „ Essentials of Satellite Navigation“

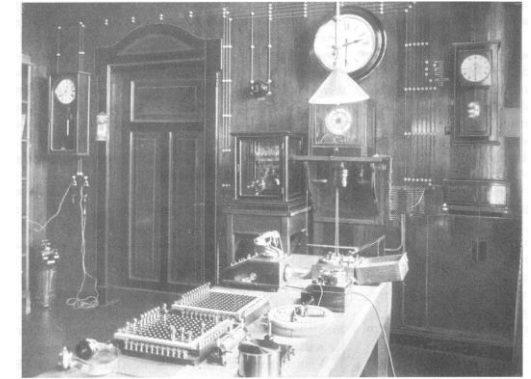
Anhang

Zeitball-Anlage der Deutschen Seewarte Hamburg (heute DHI) in 50 m auf dem Turm des Kaispeicher Nr. 1 im Hafen. An der Stelle steht heute die Elbphilharmonie.

Ein schwarzer Ball von 1,5 m Durchmesser wurde um 3m hochgehoben und exakt um 12 Uhr Mittags GMT fallen lassen.

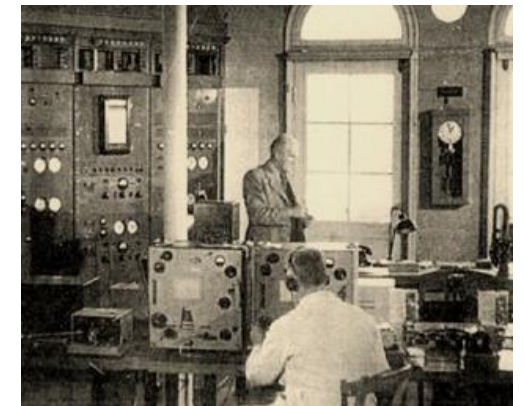


Günter Fred Mandel 2026



Zentrale Uhrenanlage der Deutschen Seewarte Hamburg
Direktor: Professor Dr. Georg v. Neumayer

Unten: Zeitdienst des späteren DHI



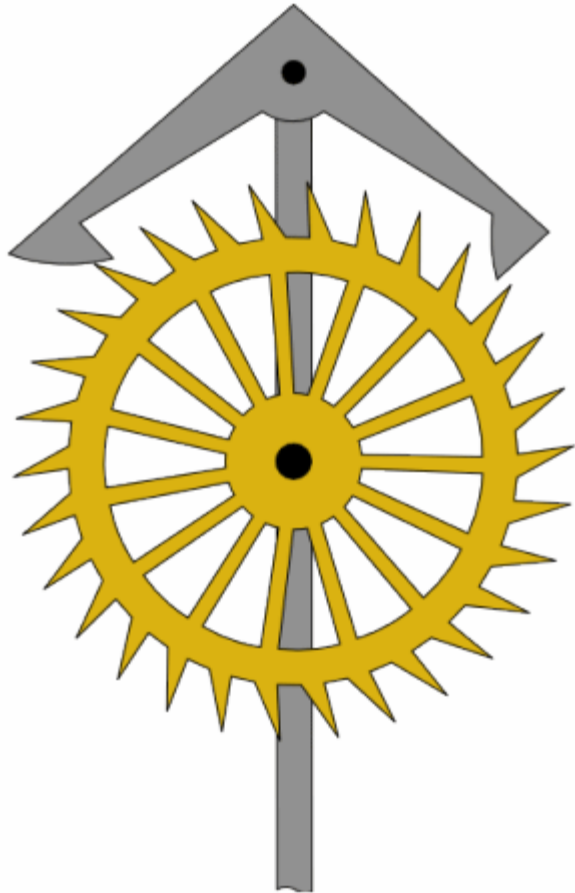
Koinzidenz Zeitsignal

Dem ONOGO Signal gegenüber besteht das anschließend übertragene Koinzidenz-Zeitsignal aus 5 gleichen, jeweils 1 Minute währenden Sequenzen mit jeweils einem 0,5 Sekunden währenden Zeitsignal zu Beginn jeder Minute sowie 60 Tonsignalen von jeweils 0,1 Sekunden Dauer, doch im Abstand von 0,9836 Sekunden, so dass also jeweils pro 60 Sekunden insgesamt 61 Zeitsignale abgestrahlt wurden. Während das ONOGO-Zeitsignal vor allem zur Grob-Einstellung der lokalen Uhren vor Ort verwendbar war, indem diese beispielsweise angehalten und am Ende des Zeitzeichens wieder in Gang gesetzt wurden, diente das Koinzidenz-Zeitsignal der Möglichkeit, eine empfangsseitige Uhr sogar auf bis zu einer Hundertstelsekunde genau einzustellen.

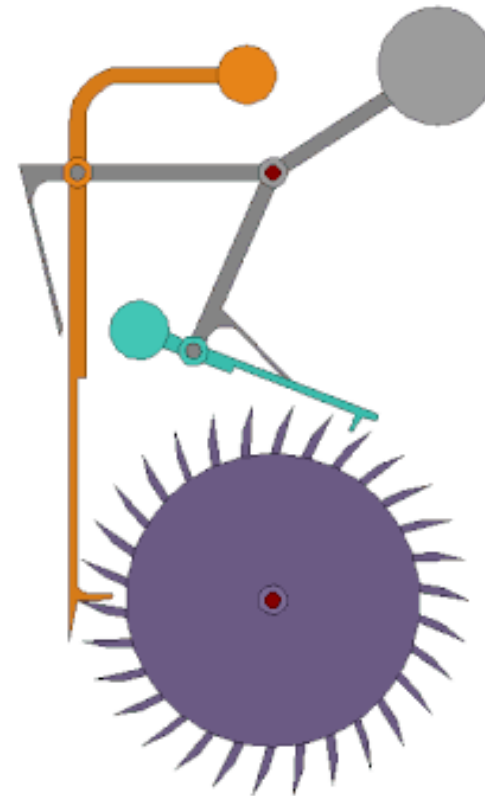
Dabei machte man sich die Tatsache zunutze, dass aufgrund der 61 abgestrahlten Tonsignale während 60 Sekunden nur bei genau einem Sekundentaktschlag einer während des empfangenen Zeitsignals abgehörten Uhr Synchronität bzw. Koinzidenz herrschte. Genau zu diesem Zeitpunkt wurde die Nummer des betreffenden Zeitsignals, gerechnet von dem letzten Minutensignal, gemerkt sowie der Uhrstand der lokalen Uhr notiert. Da ein Intervall des Koinzidenz-Zeitzeichens nur 0,9836 Sekunden währt, kann man aus der Nummer des betreffenden Koinzidenz-Tonsignals die genauen Sekunden berechnen und mit der Uhrablesung vergleichen. Da sich bei genauer Beachtung der Koinzidenz der exakte Sekundenwert auf drei Nachkommastellen genau berechnen lässt, ist es möglich, das zu korrigierende Zeitintervall ebenfalls auf mindestens eine Hundertstelsekunde genau zu bestimmen und eine entsprechend genaue Korrektur durchzuführen.^[7]

Im Laufe der 1930er Jahre stiegen mit der neuartigen Übertragungsmöglichkeit des Koinzidenz-Signals auch die Ansprüche an die Qualität bzw. Genauigkeit des Zeitsignals als solches. Im Juli des Jahres 1936 wurden zwischen dem vom Sender Nauen abgestrahlten Zeitsignal und den Zeitsignalen, die von dem englischen Sender in [Rugby](#) und dem französischen Sender in [Bordeaux](#) abgestrahlt wurden, Abweichungen gemessen, die häufig im Bereich von einer Hundertstelsekunde lagen, während Spitzenwerte durchaus auch bei +/- fünf Hundertstelsekunden liegen konnten. Während sich die Zeitsignale des Senders Nauen nach dem [Geodätischen Institut Potsdam](#) richteten, war für den Sender Rugby die [Sternwarte in Greenwich](#) verantwortlich. Der Grund für die zum Teil beachtlichen Abweichungen lag einerseits in der ungenauen Bestimmung der wirklichen Zeit, andererseits in den Fehlern, die beim Empfang und der Registrierung der Zeitzeichen auftraten.^[11]

Anker vs. Grasshopper Hemmung (Taktgeber)



Ankerhemmung
Erfindung des Uhrenpendels um 1650 durch
[Christiaan Huygen](#). Sekundenpendel Länge = 994 mm



Erfindung der Grasshopper Hemmung um ca 1725
durch [John Harrison](#)

Unruh heute



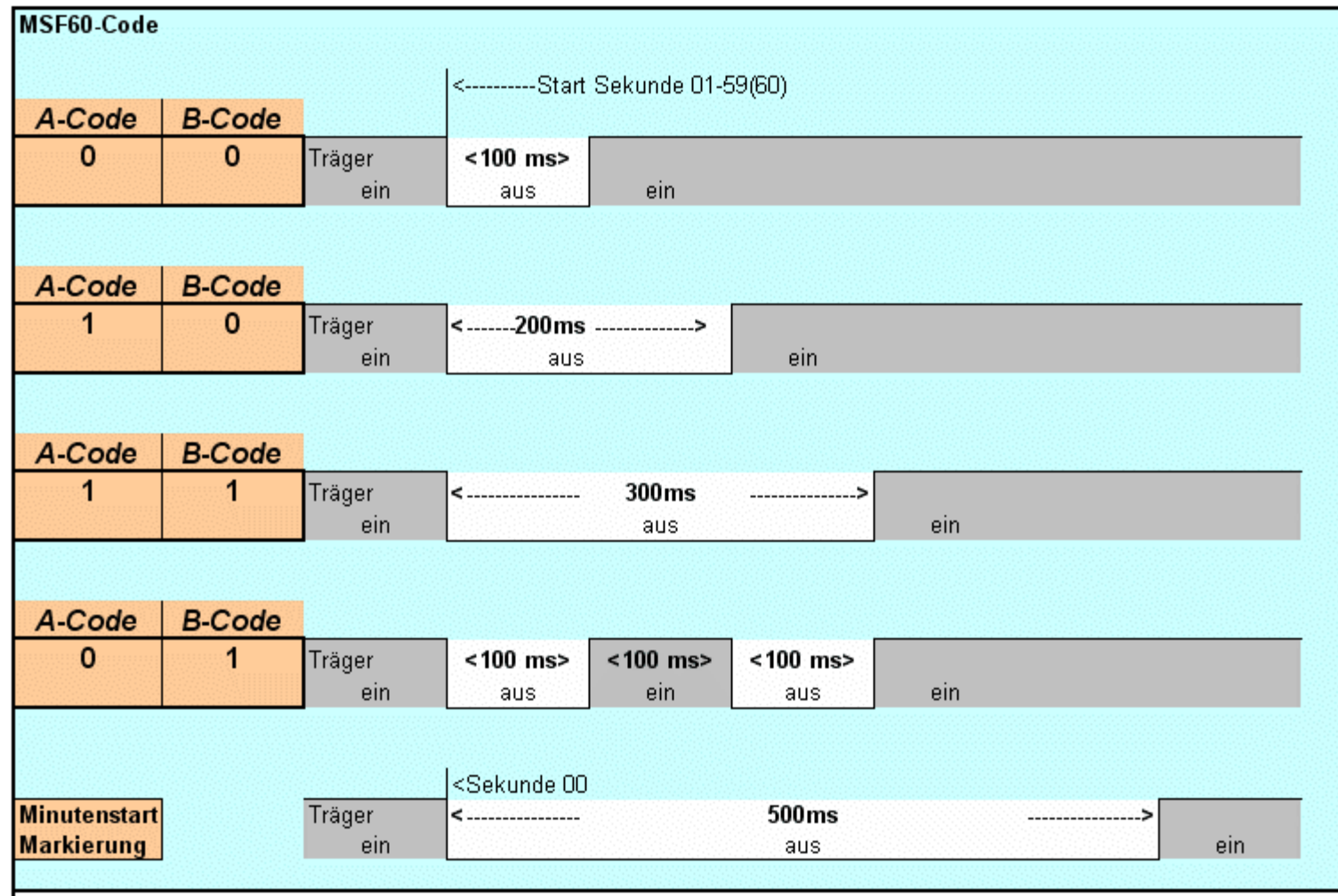








MSF A und B Code



MSF vs DCF77 Kodierung

Sekunde	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MSF60 A	Start	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSF60 B	Start	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 -	DUT1 -
DCF77	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime
Sekunde	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MSF60 A	0	0	0	0	0	0	0	Jahr 80	Jahr 40	Jahr 20
MSF60 B	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 +=1	0	0	0
DCF77	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Rufbit	Umst. WZ/SZ	(=MEZ, !=MESZ)	(=MESZ, !=MEZ)	Ank. Schaltsek
Sekunde	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
MSF60 A	Jahr 10	Jahr 8	Jahr 4	Jahr 2	Jahr 1	Monat 10	Monat 8	Monat 4	Monat 2	Monat 1
MSF60 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DCF77	Startbit	Min 1	Min 2	Min 4	Min 8	Min 10	Min 20	Min 40	P1(21-27)	Std 1
Sekunde	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
MSF60 A	Datum 20	Datum 10	Datum 8	Datum 4	Datum 2	Datum 1	Wo-Tag4	Wo-Tag2	Wo-Tag1	Stunde 20
MSF60 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DCF77	Std 2	Std 4	Std 8	Std 10	Std 20	P2(29-34)	Datum 1	Datum 2	Datum 4	Datum 8
Sekunde	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
MSF60 A	Stunde 10	Stunde 8	Stunde 4	Stunde 2	Stunde 1	Minute 40	Minute 20	Minute 10	Minute 8	Minute 4
MSF60 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DCF77	Datum 10	Datum 20	Wo-Tag 1	Wo-Tag 2	Wo-Tag 4	Monat 1	Monat 2	Monat 4	Monat 8	Monat 10
Sekunde	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
MSF60 A	Minute 2	Minute 1	0	1	1	1	1	1	1	0
MSF60 B	0	0	n/a	n/a	P1(17-24)	P2(25-35)	P3(36-38)	P4(39-51)	BST=1	n/a
DCF77	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 4	Jahr 8	Jahr 10	Jahr 20	Jahr 40	Jahr 80	P3(36-57)	fehlt

MSF vs DCF77 Kodierung

Sekunde	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MSF60 A	Start	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSF60 B	Start	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 +	DUT1 -	DUT1 -
DCF77	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime
Sekunde	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MSF60 A	0	0	0	0	0	0	0	Jahr 80	Jahr 40	Jahr 20
MSF60 B	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 -	DUT1 +=1	0	0	0
DCF77	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Meteotime	Rufbit	Umst. WZ/SZ	(=MEZ, !=MESZ)	(=MESZ, !=MEZ)	Ank. Schaltsek
Sekunde	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
MSF60 A	Jahr 10	Jahr 8	Jahr 4	Jahr 2	Jahr 1	Monat 10	Monat 8	Monat 4	Monat 2	Monat 1
MSF60 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DCF77	Startbit	Min 1	Min 2	Min 4	Min 8	Min 10	Min 20	Min 40	P1(21-27)	Std 1
Sekunde	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
MSF60 A	Datum 20	Datum 10	Datum 8	Datum 4	Datum 2	Datum 1	Wo-Tag4	Wo-Tag2	Wo-Tag1	Stunde 20
MSF60 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DCF77	Std 2	Std 4	Std 8	Std 10	Std 20	P2(29-34)	Datum 1	Datum 2	Datum 4	Datum 8
Sekunde	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
MSF60 A	Stunde 10	Stunde 8	Stunde 4	Stunde 2	Stunde 1	Minute 40	Minute 20	Minute 10	Minute 8	Minute 4
MSF60 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DCF77	Datum 10	Datum 20	Wo-Tag 1	Wo-Tag 2	Wo-Tag 4	Monat 1	Monat 2	Monat 4	Monat 8	Monat 10
Sekunde	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
MSF60 A	Minute 2	Minute 1	0	1	1	1	1	1	1	0
MSF60 B	0	0	n/a	n/a	P1(17-24)	P2(25-35)	P3(36-38)	P4(39-51)	BST=1	n/a
DCF77	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 4	Jahr 8	Jahr 10	Jahr 20	Jahr 40	Jahr 80	P3(36-57)	fehlt