

Was ist Zeit?



Nottebohmstraße 41
58511 Lüdenscheid
DEUTSCHLAND

Tel.: +49-2351-9386-86

Fax: +49-2351-9386-93

Web: <http://www.hopf.com>

E-Mail: info@hopf.com

Besuchen Sie uns online:



Was ist Zeit?

Definitionen des Zeitbegriffs und Methoden der Zeitmessung

Autor:

Stefan Hofbauer, B.A. / **hopf** Elektronik GmbH

Was ist Zeit?

Heutzutage messen wir die Zeit mit Atomuhren. Eine Atomuhr ist eine sogenannte primäre Uhr, das bedeutet, dass Atomuhren mit ihren Caesium-133 Atomen die genauesten Zeitmesser sind, die wir derzeit kennen.

Darum stellen Atomuhren auch die Referenz für alle anderen Uhren, wie z.B. Funkuhren der **hopf** Elektronik GmbH, dar.

Doch wie funktioniert eigentlich eine Atomuhr?

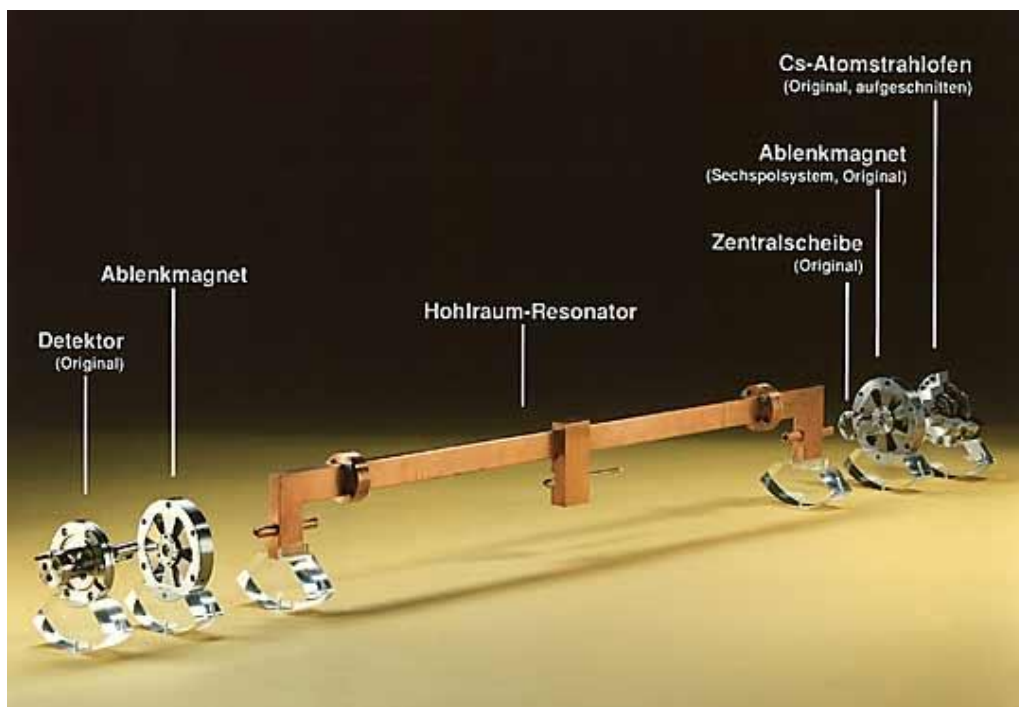


Abbildung: Innenleben einer Atomuhr

(Quelle: Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig, PTB)

Im Prinzip besteht eine Atomuhr . wie jede andere Uhr auch - aus:

1. einem Taktgeber und
2. einem Zählwerk

Was ist Zeit?

In einer herkömmlichen Uhr werden ein Pendel oder eine Unruh als Taktgeber verwendet. In einer Atomuhr sind die Taktgeber Caesium-Atome, welche eine ganz bestimmte Eigenschaft aufweisen, wenn sie mit Mikrowellen bestrahlt werden.

In einem Ofen wird eine geringe Menge Caesium bei ca. 100°C erhitzt, sodass das Caesium verdampft. Durch eine Öffnung tritt ein Strahl aus Caesium-Atomen aus. Damit diese Caesium-Atome frei fliegen können, sind Teile der Atomuhr in einem luftleeren Raum angeordnet.

Die Caesium-Atome aus dem Ofen können nach dem Verdampfen zwei verschiedene Energiezustände haben. Sie befinden sich in einem der beiden energetisch tiefsten Zustände, die Caesium-Atome einnehmen können. Für die Zeitmessung ist allerdings nur einer dieser Zustände geeignet, sodass ein Magnet die Atome im ungeeigneten Energiezustand ablenkt. Atome mit geeignetem Energiezustand fliegen weiter in den sogenannten Hohlraum-Resonator. Im Resonator werden die Atome mit geeignetem Energiezustand mit Mikrowellen bestrahlt.

Haben diese Mikrowellen eine ganz bestimmte Frequenz, wechseln die Caesium-Atome ihren Energiezustand und werden im Anschluss daran in einer Kammer wieder aufgefangen. Bei einer bestimmten Mikrowellen-Frequenz (= Resonanz-Frequenz des in Schwingung versetzten Caesium-133-Atoms) ist die Anzahl der aufgefangenen Caesium-Atome am größten.

Definitionsgemäß ist die Sekunde das Vielfache der Periode (exakt 9.192.631.770 Perioden) dieser Mikrowellen-Frequenz, die mit einem ausgewählten Niveauübergang im Caesium-Atom in Resonanz ist. Daher wird sie als Atomsekunde bezeichnet (Definition SI-Einheit Sekunde).

Was ist Zeit?

Das Zählwerk . der Detektor . ist dafür zuständig, die Anzahl der Caesium-Atome, welche ihren Zustand durch die Bestrahlung geändert haben, zu zählen und ihre Anzahl in weiterer Folge zur Anzeige zu bringen.

Atomuhren sind wie bereits erwähnt die derzeit exaktesten Zeitmessinstrumente . die Abweichung beträgt ca. 1 Sekunde in 3 Millionen Jahren.

Im Pariser Bureau International des Poids werden die Daten von ca. 260 weltweit verteilten Atomuhren gesammelt und ausgewertet. Durch Mittelung aller Uhren wird die internationale Atomzeit (TAI) festgelegt. Die TAI basiert somit auf einem atomaren Zeitnormal, der sogenannten SI-Sekunde. Im Alltag sind allerdings Zeitskalen interessant, die auf der Erdrotation basieren und sich somit am Sonnenstand orientieren.

Die im Alltag verwendete Zeit hat natürlich einerseits das Ziel, sich am Sonnenstand zu orientieren, andererseits für technische Gegebenheiten ein konstant gleichförmiges Zeitformat zu nutzen (TAI). Als Kompromiss hat man sich daher auf die Koordinierte Weltzeit UTC geeinigt.



Abbildung: Internationale Atomzeit / Koordinierte Weltzeit / Mitteleuropäische Sommerzeit
(Quelle: Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig, PTB)

Was ist Zeit?

Als Folge der Verlangsamung der Erdrotation geht die UTC der TAI allerdings gegenüber nach. Um diese Differenzen auszugleichen, wird gelegentlich eine sogenannte Schaltsekunde eingefügt. Die letzte Schaltsekunde wurde am 30. Juni 2015, 23:59:60 UTC eingefügt. Die Anweisung zur Einfügung einer Schaltsekunde kommt vom International Earth Rotation and Reference Systems Service IERS (www.iers.org)

Überwiegend sind an die UTC unsere heutigen Zeitzonen gekoppelt. Die Unterschiede zwischen UTC und den Zonenzeiten sind gleichbleibende, meist ganzzahlige Stundenbeträge. Die Kombination zwischen UTC und den jeweiligen Zeitzonen ergibt die sogenannte Standardzeit, welche in Verbindung mit Sommer-/Winterzeit-Umstellung die jeweilige lokale Zeit ergibt. UTC als Zeitbasis wird der Öffentlichkeit über diverse Übertragungsverfahren zugänglich gemacht.

In Deutschland ist die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig dafür zuständig, die gesetzliche Zeit zu verbreiten. Das Zeitsignal wird an einen Langwellensender in Mainflingen bei Frankfurt gesendet, der in Folge Funkuhren in Westeuropa mit der in Deutschland gültigen gesetzlich festgelegten Normalzeit via dem international gültigen Rufzeichen DCF77 auf der Frequenz 77,5 kHz versorgt.



Abbildung:
geografische Reichweite des DCF77-Signals
(Quelle: Physikalisch Technische Bundesanstalt
Braunschweig, PTB)

Was ist Zeit?

Das DCF77-Signal kann, abhängig von der Tages- und Jahreszeit, von dafür geeigneten Antennen bis zu einer Entfernung von ca. 2.000 km empfangen werden. Mehr zu DCF77 erfahren Sie auf unserer Website http://www.hopf.com/de/dcf77-info_de.html.

Natürlich gibt es einige weitere Institute, die weltweit ebenfalls für die Zeitübertragung zuständig sind:

In Großbritannien ist das National Physical Laboratory in Teddington nahe London für die Zeitübertragung verantwortlich, in den USA das National Institute for Standards and Technology (NIST) in Fort Collins (Colorado). In Japan wird die Zeit durch das Communications Research Laboratory (CRL), in China durch das National Time Service Center zur Verfügung gestellt.

Was ist Zeit?

Doch wie wird die Zeit via GPS

zu einer Funkuhr der **hopf** Elektronik GmbH übertragen?

In ca. 20.000 km Höhe bewegen sich Satelliten auf sechs unterschiedlichen Bahnen 2 x am Tag um die Erde. Das Weltraumsegment besteht aus mindestens 24 Satelliten. An Bord jedes Satelliten befinden sich zwei Atomuhren mit einer Genauigkeit von mind. 1×10^{-12} . Die Satelliten senden kontinuierlich auf einer Frequenz von 1,57542 GHz ihre Bahnpositionen sowie die GPS-Weltzeit alle zum selben Zeitpunkt aus. Die Signale mit aufgeprägtem Zeitstempel bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit, also etwa 300.000 Kilometer pro Sekunde oder etwa eine Milliarde Kilometer pro Stunde (exakter Wert: 1.079.252.848,8 km/h).



Abbildung: GPS-Satellit

(Quelle: Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt e.V. / DLR)

Von einer GPS-Antenne werden die Daten von den Satelliten empfangen, die im Sichtbereich der Antenne liegen. In einem mehrkanaligen GPS-Empfänger werden diese Daten nun ausgewertet. Dabei vergleicht der Empfänger die Zeit, zu der das GPS-Signal ausgesandt wurde, mit der Zeit, zu der er das Signal empfangen hat. Darauf basierend lässt sich die Entfernung des Satelliten errechnen. Durch Datenübertragung von vier oder mehr Satelliten kann die absolute Position im Raum (d.h. Längen- und Breitengrad) und zusätzlich die Höhe des GPS-Empfängers über der Erdoberfläche bestimmt werden.

Was ist Zeit?

Ist die Position berechnet, so können die Laufzeiten der Sendeinformationen von den einzelnen Satelliten bestimmt werden.

Daraus lassen sich die Zeitinformationen mit einer Genauigkeit von wenigen Nano-Sekunden festlegen. Die Genauigkeit der Zeitbestimmung ist in erster Linie von der Genauigkeit der Positionsbestimmung abhängig, weil daraus die genaue Laufzeit errechnet wird.

Aus GPS-UTC wird durch Addition oder Subtraktion der Schaltsekunden die Weltzeit UTC berechnet. Die Schaltsekunden bieten wie oben bereits beschrieben die Möglichkeit, die Ungenauigkeit der Erdrotationsgeschwindigkeit auszugleichen. Die Korrektur kann automatisch erfolgen, da die Satelliten die Differenzinformation mitsenden. Aus UTC kann nun durch Addition oder Subtraktion eines Zeitoffsets die Standardzeit und unter Berücksichtigung von Sommer-/Winterzeit-Umstellung in weiterer Folge die lokale Zeit präzise berechnet werden.

Mehr Informationen zum Thema GPS erhalten Sie auf unserer Website

http://www.hopf.com/de/dcf77-gps_de.html.

Sie interessieren sich im Detail für unsere Zeitsynchronisations-Lösungen?

Dann freuen wir uns über Ihren Besuch auf

http://www.hopf.com/de/index_article_de.html.

Quellen:

Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig, www.ptb.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), www.dlr.de

<http://www.kowoma.de/gps>