

Bestimmung der Zeit

Beziehen wir unsere Zeitmessung auf die Achsendrehung der Erde, so gelten für diese Messung zwei Bezugspunkte. Zum Ersten ist es der Greenwicher Meridian (Nullmeridian) oder ein anderer benannter Ortsmeridian. Zum Zweiten ist es der Frühlingspunkt. Es wird nun genau die Zeit gemessen, die eine Achsendrehung der Erde benötigt, um an den als im Raum feststehenden Frühlingspunkt vorbei zugehen. Genauer gesagt, bezeichnet man mit einem Tag zwei nachfolgende Durchgänge des Nullmeridians durch den Frühlingspunkt. Hierbei vergeht eine Zeit von 24h 00 min 00s. Diese Zeitmessung wird als Sterntag bezeichnet. Gemessen wird zum Zeitpunkt der Kulmination, wenn der Frühlingspunkt am höchsten steht. Der Frühlingspunkt ist natürlich nicht sichtbar, er ist ein mathematisch berechneter Punkt an der Himmelskugel und entspricht dem Kreuzungspunkt der Erdbahn um die Sonne mit dem Himmelsäquator. Zur Zeitmessung eignet sich daher besser die Sonne. Sie ist für jeder Mann sichtbar und regelt seit alters her die Zeitrechnung der menschlichen Gesellschaft. Ein Sonnentag entspricht der Zeitspanne zwischen zwei Kulminationen der Sonne. Da das Datum um Mitternacht wechselt, ist die untere Sonnenkulmination bezogen auf 180° Länge (Datumsgrenze) maßgebend. Hier muss man natürlich die Doppelbewegung der scheinbaren Sonne betrachten. Da die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne der scheinbaren täglichen Bewegung entgegen wirkt, ergeben sich Zeitverschiebungen, die an dieser Stelle erläutert werden sollen.

Würde die Sonne keine scheinbare jährliche Bewegung haben, würde die Zeitmessung, bezogen auf die Sonne mit der Zeitmessung, bezogen auf den Frühlingspunkt übereinstimmen. Jedoch hebt die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne einen Teil der scheinbaren täglichen Bewegung der Sonne auf. Der Sonnentag muss somit länger als der Sterntag von 24h 00min 00s ausfallen. Und tatsächlich fällt der Sonnentag um 3min 56s länger aus, als der Sterntag. Es werden 24h 03min 56s gemessen. Die Zeitspanne dieser scheinbaren Gesamtbewegung wird als wahre Sonnenzeit bezeichnet. Ein weiteres Merkmal der scheinbaren Bewegung der Sonne ist ihre Veränderlichkeit der scheinbaren Jahresbewegung auf Grund der unterschiedlichen Bahngeschwindigkeit der Erde auf der Ekliptik. Die Veränderlichkeit bewirkt nun eine unterschiedliche Länge des Tages. Mit einer gleichförmig gehenden Uhr gemessen bedeutet dies, dass der Sonnentag mal etwas kürzer und mal etwas länger wird. Um diese Besonderheiten auszugleichen hat man den mittleren Sonnentag eingeführt. Hierbei handelt es sich um eine gedachte Sonne, die für einen scheinbaren täglichen Umlauf um die Erde 24h 03min 56s benötigt. Für das praktische Leben ist es jedoch von Vorteil eine Sonnenzeit zu haben, die sich glatt rechnet. Man hat deshalb den mittleren Sonnentag gleich 24h 00min 00s gesetzt. Der Sterntag wird dadurch kürzer. Er beträgt demzufolge nur noch 23h 56min 04s.

Viermal im Jahr stimmt die mittlere Sonnenzeit mit der wahren Sonnenzeit überein. Dieser Unterschied findet in der Zeitgleichung ihren Ausdruck:

Zeitgleichung(e) = wahre Zeit - mittlere Zeit,

wobei e sowohl ein positives (+) als auch ein negatives (-) Vorzeichen haben kann.

Durchschnittliche Werte der Zeitgleichung:

1. Januar.....- 3,2min	1. Mai.....+ 2,9min	1. September.....- 0,3 min
1. Februar...- 13,6min	1. Juni.....+ 2,5min	1. Oktober+ 10,0 min
1. März.....- 12,6min	1. Juli.....- 3,5min	1. November.....+ 16,3 min
1. April.....- 4,2min	1. August. - 6,3min	1. Dezember.....+ 11,2 min

Natürlich zeigt die Präzessionsbewegung der Erde auch ihren Einfluss auf die Zeitmessung. Die jährliche Präzession wirkt entgegen der Bewegung der scheinbaren Himmelskugel. Sie wirkt deshalb gleichzeitig auf den Frühlingspunkt sowie auch auf die scheinbare Gesamtbewegung der Sonne. Da der Wert der jährlichen Präzession $50,4''$ beträgt, hat die tägliche Präzession eine Größe von nur $50,4'' : 365,24219879d = 0,14148''$. Das entspricht einer Zeit von $0,14148'' : 150 = 0,009s$ (ca. 3,4s jährlich). Für genaue astronomische Messungen wird dieser Wert natürlich, neben den Werten, die aus den Einflüssen der Nutation kommen, beachtet werden müssen. Auch ist bei genauen wissenschaftlichen Messungen der Umstand zu beachten, dass die Rotationsgeschwindigkeit der Erdkugel keine gleich bleibende ist. Veränderliche Gravitationskräfte, hervorgerufen aus den unterschiedlichen Entfernungen zu der Sonne, zu den anderen Planeten bzw. zum Mond und die daraus resultierenden Masseverschiebungen im Erdinnern einerseits sowie Veränderlichkeiten der hydrometeorologischen Bedingungen auf der Erde andererseits lassen die Rotation der Erde nicht gleichförmig verlaufen. Die Erdrotation verlangsamt sich ständig. Bezieht man die Zeit auf den Meridian des Beobachtungsortes, so spricht man von der Ortszeit, dabei kann man von der Bewegung der gedachten mittleren Sonne -mittlere Ortszeit (MOZ)- oder von der Bewegung der wahren Sonne -wahre Ortszeit (WOZ)- ausgehen, wobei der Unterschied zwischen MOZ und WOZ in der Zeitgleichung zum Zeitpunkt des Meridiandurchganges der wahren Sonne (Kulmination bei 12-00-00 Uhr, WOZ) seinen Ausdruck findet.

Als Weltzeit wird der Durchgang der mittleren Sonne durch den Nullmeridian definiert. Da dieser Meridian durch die alte englische Sternwarte Greenwich bei London verläuft, spricht man auch von der Greenwicher Zeit (GMT, engl. Greenwich Mean Time). Die Schwankungen der wahren Sonnenbahn werden herausgefunden, indem man die Sternzeit nach den Fixsternen bestimmt und diese mit der wahren Sonnenzeit vergleicht. Als Ergebnis erhält man die Zeitgleichung(e).

In Washington, der US-amerikanischen Bundeshauptstadt, befindet sich auf einem Bergabhang stehend, ein kleines, quadratisches, festerloses Häuschen. In diesem Häuschen befindet sich ein Teleskop, das genau senkrecht nach oben ausgerichtet ist. Dieses Gerät wird als Photographic Zenith Tube (fotografisches Zenit-teleskop), abgekürzt als "PTZ" bezeichnet. Es gehört zum United States Naval Observatory. Aufgabe des PTZ ist es, die Positionen der Zenitsterne zu fotografieren und somit die Dauer einer Erdrotation festzustellen. In Verbindung mit einer Kontrolluhr erfolgt so der Vergleich der mittleren Sonnenzeit mit der wahren Sternzeit. Die Kontrolluhr wird durch die gleichmäßigen Schwingungen des Cäsiumatoms gesteuert. Genau genommen ist hier die Atomsekunde die Dauer von 9192631770 Perioden der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Atoms Caesium 133 entspricht. Die Rundfunksender senden nach dieser Atomzeit ihre internationalen Zeitzeichen. Alle Uhren können nun nach dieser Zeit gestellt bzw. justiert werden. Es ist immer die Weltzeit oder GMT, nach der die Sendung der Rundfunkzeitzeichen erfolgt.

Die gleichmäßig laufende Atomuhr passt sich in ihrem Lauf nicht der ungleichmäßigen Erdrotation an. Sie vergleicht nur beide Vorgänge. Täglich eilt diese Atomuhr nun der GMT um 0,003s voraus. Heute unterscheidet man drei Zeitskalen:

1. Die Greenwich Mean Time auch Universal Time (UT) genannt. Diese Zeitskala basiert auf die unregelmäßige und ständig langsamer werdende Achsendrehung der Erde. Dazu kommt noch eine Veränderung der Lage der Rotationsachse selbst. Die Verlagerung der Erdachse bewirkt eine Schwankung, der Erdpole mit einer Periode von 415 bis 433 Tagen um 20 Meter. Man unterscheidet deshalb die UT in nochmals drei Universalzeiten. Als UT-O wird die auf den Nullmeridian bezogene mittlere Sonnenzeit bezeichnet (Weltzeit oder GMT).

Werden nun die Polverschiebungen der Erde berücksichtigt, ergibt sich die UT-1. Verschiedene astronomische Beobachtungen lassen sich mit der UT-1 gut vergleichen, da die Polschwankungen einer ständigen Überwachung unterliegen. Die als UT-2 bezeichnete Universalzeit wird gewonnen, wenn man die Korrektur der UT-1, zuzüglich der Korrektur, die durch die quasiperiodischen und jahreszeitlichen Schwankungen der Rotationsachse der Erde entstehen, an die UT-0 an trägt. Die UT-2 kann über Jahre als gleichförmig laufende Zeit angesehen werden. Beide Korrekturen erreichen im Höchstfall zusammen 0,09s. Das Bureau International de l'Heure (BIH) in Paris berechnet diese Korrekturen, die aus den Beobachtungen der nationalen Dienste, auch denen des United States Naval Observatory, stammen.

2. Für die Zeitmessung muss eine Zeiteinheit festgelegt werden, die jederzeit reproduzierbar und unveränderlich ist. Die Astronomie hat diese Zeit mit dem mittleren Sonntag bzw. den mittleren Sterntag festgelegt. Grundlage ist das Tropische Jahr der Sonne. Das Tropische Jahr nimmt jedoch jedes Jahrhundert u.a. auf Grund der Präzessionsbewegung um ca. 0,5 Sekunden ab. Deshalb wurde für den Anfang der astronomischen Zeitzählung der 0. Januar 1900, 12 Uhr Ephemeridenzeit fixiert. Das ist der 31. Dezember 1899, 12.00 Uhr mittags. Alle Astronomen rechnen in Bezug auf die astronomische Himmelsmechanik seit 1952 mit dieser Anfangszeit.

Die Atomzeitskala (International Atomic Time - IAT) beschreibt die internationale Länge unserer Zeitsekunde, denn genau genommen ist die Sekunde der 31556925,9747te Teil des Tropischen Jahres für 1900, Januar 0, 12 Uhr Ephemeridenzeit.

3. Um nun zu erreichen, dass die Abweichungen zwischen UT-0, UT-1 und UT-2 gegenüber der GMT nicht anwachsen, wurde international vereinbart, den Unterschied zwischen der UT-1 und der GMT nie größer als 0,7s werden soll. Durch Einfügen oder Weglassen einer Schaltsekunde wird so die GMT der Erdrotation wieder angeglichen. Diese Zeit wird als Universal Time-Co-ordinated (UTC) bezeichnet. Dieses Einschalten der Zeitsekunde in die UTC erfolgt vorrangig am 30. Juni und/oder am 31. Dezember um 24-00-00 Uhr jeden Jahres. Sie kann aber auch an einem anderen Monatsletzten erfolgen. Der Sekundensprung wird vom BIH festgelegt und allen Nutzern (Schifffahrt) rechtzeitig angekündigt. Die gesendeten Zeitsignale entsprechen der UTC. Die Zeitkorrektur DUT-1 drückt sich aus in:

$$dUT-1 = UT-1 - UTC.$$

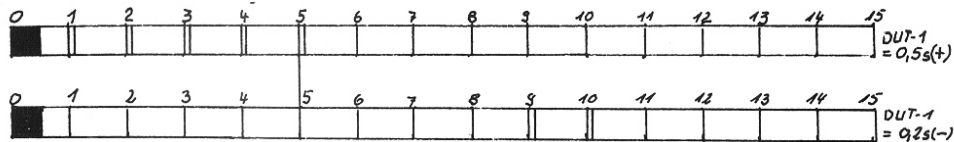
Die Korrektur für die UT-1 lautet in erster Näherung (mit der mittleren Länge λ_m , der mittleren Breite φ_m und den Polkoordinaten x und y) lautet:

$$UT-1 = UT-0 - \tan(\varphi_m) \cdot (x \sin(\lambda_m) + y \cos(\lambda_m))$$

Befindet sich beispielsweise ein Schiff auf See, so ist es dort möglich, über das Abhören der Zeitzeichen die Differenz zwischen der Chronometerzeit und der UTC festzustellen. Das Seechronometer wird immer die GMT/UTC anzeigen. Fehler, die auf Grund der unterschiedlichen Ganggenauigkeit entstehen, können so erkannt und der tägliche Gang des Chronometers kann errechnet werden. Für die astronomische Standortbestimmung bzw. der astronomischen Beobachtung von Gestirnen benötigt man aber die UT-1, weil diese Zeit dem Drehwinkel der Erde proportional ist. Da die UT-1 von der UTC aber nur um höchstens 0,7s abweichen kann, genügt in der Regel die UTC gleich der UT-1 zu setzen. Wird die UT-1 dennoch auf 0,1s Genauigkeit benötigt, muss die UTC zur UT-1 beschickt werden. Dazu muss man die kodierten Signale kennen, die diese Beschickung bekannt geben. Dieser Kode wird im Zusammenhang mit dem Zeitzeichen gesendet. Die Zeitzeichen können je dem Land, welches Zeitzeichen sendet, eine unterschiedliche Form aufweisen. Neben den Rundfunksendern, die stündlich ein Zeitzeichen senden, wobei um 00.00 Uhr, 06.00 Uhr, 12.00 Uhr und 18.00 Uhr UTC ein verlängertes Zeitzeichen gesendet wird, bieten sich die Zeitfunksender an, die rund um die Uhr die Sekundentöne senden (Liste der 1995 gültigen Sender und Frequenzen siehe im Anhang). Der Kode besteht aus maximal acht hervorgehobenen, aufeinander folgenden Sekundenmarken, die im ersten Viertel jeder Minute

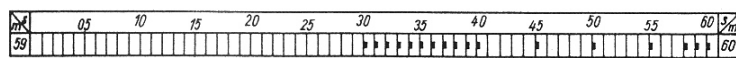
gesendet werden. Die Zeitkorrektur (DUT-1) erhält man, indem man die Anzahl der hervorgehobenen Sekundenmarken mit 0,1s multipliziert. Hat die DUT-1 ein positives Vorzeichen (+), so werden diese Werte mit Hilfe der Sekundenmarke Nr. 1...8, beginnend mit der Sekundenmarke Nr. 1 ausgedrückt.

Negative (-) Werte werden mit der Sekundenmarke Nr. 9...16, beginnend mit der Sekundenmarke Nr. 9 ausgedrückt. Fehlen die hervorgehobenen Sekundenmarken ist keine Beschickung anzubringen. Die Hervorhebung der besonderen Sekundenmarken geschieht durch Verdopplung, Spaltung oder Tonmodulation der entsprechenden Sekundenmarke.

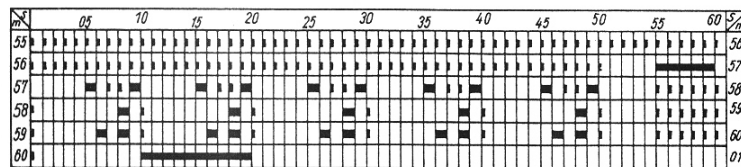


Nachfolgend soll ein Überblick über die gebräuchlichsten Zeitsignale gegeben werden. Die als schwarze Zeichen dargestellten Signale dienen dem Uhrenvergleich, während die umrandeten Zeichen für den Nutzer ohne Bedeutung sind. Heute geschieht eine Uhrzeitkontrolle auch direkt über Funksignale.

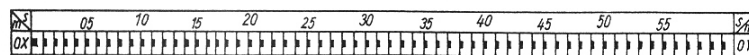
Ist eine solche Uhr vorhanden, so zeigt diese immer die UTC an. Die UT-1 muss auch hier aus den Zeitzeichen heraus beschickt werden. Benutzer von amerikanischen Geräten zur Satellitennavigation (GPS) erhalten ebenfalls die Uhrzeit in UTC und nicht in UT-1 angezeigt.



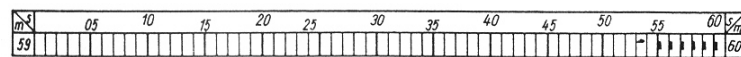
a) verlängertes Zeitzeichen



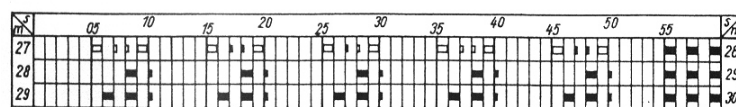
b) neues internationales Zeit signal



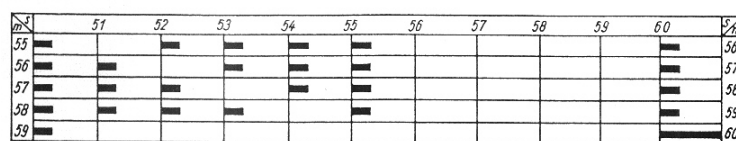
c) Sekundensignal nach dem englischen System



d) Sekundensignal (BBC-System)



e) internationales Zeit signal (DND 50)



f) Zeitsignal (USA-System)

Die Zeitzeichen werden wegen der großen Reichweite meist im LW, MW oder KW Bereich gesendet. Es gibt aber auch einzelne Funkdienste auf UKW) und im Übergang von Lang- zu Längswellen, sowie mittels Satelliten im hohen Frequenzbereich der Mikro und Dezimeterwellen. Zeitinformationen zu Navigationszwecken wurden früher durch LORAN-Sender ausgestrahlt, die jetzt durch moderne Navigationssatelliten (GPS, GLONASS, Galileo-System) ersetzt werden.

Vor allem in der vordigitalen Zeit (bis in die 1970er-Jahre) wurden auch die Trägerfrequenzen einiger Rundfunksender als Frequenznormale ausgewertet. Die Sender sendeten also ein normales Radioprogramm, und der Zeitempänger synchronisierte sich lediglich auf diese Trägerfrequenz, und die Zählung der Schwingungen musste dann vor Ort selbst vorgenommen werden. Weitere elektronisch auswertbare Quellen für Zeitinformationen gibt es im Radio Data System (RDS) von UKW-Hörfunksendern (als Begleitinformation zum normalen Hörfunkprogramm) sowie in den Videotext- und Electronic Program Guide (EPD-Daten von Fernsehsendern. Weiter gibt es im Internet Zeitserver mit dem Network Time Protocol, über die man die Uhr im eigenen Rechner synchronisieren kann. Auch Handys können eventuell Zeitinformationen über das Mobilfunknetz empfangen und anzeigen. Sendestationen der Zeitdienste sind im Internet zu finden. Ein deutscher Zeitsender ist Mainflingen (Rufzeichen DZF77, Frequenz: 77,5 kHz)

Die Bestimmung der astronomischen Zeit erfolgt heute über die Langbasisinterferometrie (Very Long Baseline Interferometry –VLBI–). Das ist eine Methode der Radioastronomie für Messungen mit höchster räumlicher Auflösung und Positionsgenauigkeit. Sie dient sowohl für astronomische Beobachtungen als auch für geodätische Untersuchungen im Gebiet der Erdmessung und somit auch zur genauen Zeitmessung.

Bringt man an die WOZ die Zeitgleichung an, erhält man die mittlere Ortszeit (MOZ). Auf Grund der Erdrotation liegen zwischen einer Stunde Erdrotation 15° Längenunterschied. Somit beträgt die MOZ auf 0° Greenwich Meridian 12-00-00 Uhr, 15° Ost (E) 11-00-00 Uhr, auf 30° E 10-00-00 Uhr auf 45° E 15-00-00 Uhr usw., wenn die Sonne auf dem Greenwich Meridian in MOZ kulminiert. Da nun jeder Längengrad, jede Längenminute und genau genommen auch jede Längensekunde ein eigenes Zeitintervall in Bezug der MOZ auf die UTC (UT-1) besitzt, würde jedes in jedem Land unterschiedliche Uhrzeiten geben. Eine Vereinheitlichung ist hier angebracht und wurde auch international vereinbart. So erfolgte die Einteilung der Erde in Zeitzonen (ZZ). Die Zeitzone 0 bezieht sich auf den Längenbereich zwischen $7,5^\circ$ E und $7,5^\circ$ W, wobei der Mittelwert der Nullmeridian ist. Für die Länge 15° E ergibt sich die Zeitzone zwischen $7,5^\circ$ E bis $22,5^\circ$ E. Es ist die Zeitzone – 1, da die Kulmination der Sonne auf dem Ortsmeridian (15° E) vor der Kulmination auf dem Greenwich-Meridian erfolgt. Die Zeitzone $7,5^\circ$ W bis $22,5^\circ$ W trägt die Bezeichnung ZZ + 1. Würde man sich streng an die zugeordneten Längengrade halten, so hätte viele kleine Länder unterschiedliche Zeitzonen. Um diesen Unstand zu umgehen, hat man die Grenzen der Zeitzonen entsprechend den Ländergrenzen angepasst. Auf dem offenen Meer gilt jedoch die Einteilung der ZZ nach den Längengraden. An Bord von Seeschiffen wird bei Ost-West- oder West-Ost-Reisen die Zeitumstellung recht willkürlich gehandhabt und die Tage, an denen eine Umstellung erfolgt, den betrieblichen Erfordernissen an Bord entsprechend festgelegt. In der Regel wird an einem Tag maximal eine Stunde umgestellt. Der Tag, an dem das geschieht, muss nicht zwingend mit dem Queren der geographischen Grenze zwischen zwei Zeitzonen zusammenfallen. Die Uhr wird in der Regel in mehreren Schritten während der Nacht umgestellt, um die dadurch bedingte Mehr- beziehungsweise Minderarbeit auf alle Wachen gleichmäßig zu verteilen.

Auswahl über die auf der Erde geltenden Zeitzonen

+ 12	IDLW	International Date Line West
+ 11	KOST	Kosrae Standard Time
	SRET	Srednekolymusk Time
	NCT	New Caledonia Time
	SBT	Solomon Island Time
	AEDT	Australian Eastern Daylight Time
+ 10	AHST	Alaska-Hawaii Standard Time
+ 10	CAT	Central Alaska Time
+ 10	HST	Hawaii Standard Time
+ 9	YST	Yukon Standard Time
+ 8	PST	Pacific Standard Time
+ 7	MST	Mountain Standard Time
+ 6	CST	Central Standard Time
+ 5	EST	Eastern Standard Time
+ 4	AST	Atlantic Standard Time
+ 3,5	NST	Nordthern Standard Time
+ 2	AT	Azores Time
+ 1	WAT	West African Time
± 0	GMT	Greenwich Mean Time
± 0	UTC	Universal Coordinated Time entspricht: WEZ Westeuropäische Zeit - WET Western European Time
- 1	CET	Central European Time
- 1	MEZ	Mitteleuropäische Zeit
- 2	MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
	CEST	Central European Summer Time)
- 2	EET	Eastern European Time
	(OEZ)	(Osteuropäische Zeit)
- 3	MSK	Moscow Time
- 3	BGT	Baghdad Time
- 4	IOT	Indian Ocean Time
- 5	EIT	East Indian Ocean Time
- 5,5	IST	Indian Standard Time
- 6	ICT	Indochina Time
- 7	WAST	West Australien Time
- 8	CCT	China Coast Time
- 9	JST	Japan Standard Time
-10	EAST	East Australian Standard Time
	AST	Alaska Standard Time
	GST	Guam Standard Time
-11	WST	West Samoa Time
	WSST	West Samoa Summer Time
	NUT	Niue Time
-12	IDLE	International Date Line East
	NZST	New Zealand Standard Time
	LT	Local Time (Ortszeit)

Zeitzone und Zeitgleichung

