

## Zeitangaben bei der Veränderlichenbeobachtung

Wolfgang Quester

**Abstract:** *In 2006 the difference TT - UTC exceeds 1 minute and thus it is larger than r.m.s. errors of most CCD-timings of short-period variables. Therefore it is recommended that PE and CCD photometrists no longer use UTC or JD for timing short-period variables. Instead ET respective TT should be used and times of maxima or minima should be published as heliocentric JD(ET) or JD(TT).*

An jedem Beobachtungsabend das gleiche Ritual: Die Uhr des datenspeichernden Computers wird mit einer Funkuhr sekundengenau auf UTC gestellt. Das zu messende Minimum oder Maximum wird zwar nicht auf die Sekunde genau bestimmt werden können, aber wenn seine Zeit auf heliozentrisches JD umgerechnet wird, wird sie doch gut genug sein, um Periodenänderungen, die evtl. in den vergangenen Jahrzehnten eingetreten sind, genau bestimmen zu können oder?

Um die Frage zu beantworten muss man wissen, wie die Zeit gemessen wird. Maß der bürgerlichen Zeitbestimmung ist die Erdrotation. Der scheinbare Lauf der Sonne bestimmt die Tageslänge. Nun bewirkt die gegen die Ekliptik geneigte, elliptische Erdbahn, dass die Sonne nicht an jedem Tag zur gleichen Zeit durch den Meridian geht. Es wurde eine "mittlere Sonne" eingeführt, die für gleiche Tageslänge während des ganzen Jahres sorgt. Die Differenz zwischen dem wahren Meridiandurchgang und dem der mittleren Sonne ist die Zeitgleichung. Grob gesprochen liefert der Durchgang der mittleren Sonne durch den Meridian von Greenwich das Zeitmaß UTC.

Vor einer weiteren Diskussion über die Zeit möchte ich auf einen Aufsatz über Qualitätssicherung für Beobachter verweisen [Quester (2001)]. Die Genauigkeit einer Messung setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: Erstens die "Präzision", zweitens die "Akkuratesse". Die Präzision ist ein Maß für die Streuung der Messwerte um ihren Mittelwert. Hohe Präzision bedeutet eine geringe Streuung der Messungen. sie wird durch zufällige Fehler bestimmt. Akkuratesse beschreibt die Lage der Messungen zum "wahren Wert" den die Messungen repräsentieren. Weil der wahre Wert zumeist unbekannt ist, ist sie schwierig zu bestimmen, häufig erst durch Vergleich mit anderen, unabhängig gewonnenen Messungen. Die Akkuratesse ist im Wesentlichen eine Folge systematischer Fehler, die die Messungen in eine bestimmte Richtung verschieben. Ein schönes Beispiel dafür ist ein Zeitfehler von einer Stunde, der bei der Umstellung auf Sommer- oder Winterzeit entstehen kann.

Auch beim korrekten Ablesen der Uhr, egal ob MEZ, MESZ oder "Weltzeit" UTC, schleicht sich ein systematischer Fehler ein. Alle genannten Zeiten basieren auf der Erdrotation und die verlangsamt sich ganz allmählich. Als Folge nimmt die Tageslänge im Laufe der Jahre langsam zu. Überlagert wird die Zunahme durch unregelmäßige Schwankungen der Rotation, die durch Massenverlagerungen im Erdkörper entstehen. Für uns Menschen ist das nicht merkbar; heute wie vor dreihundert Jahren hat der Tag 24 Stunden zu je 3600 Sekunden. Doch bei der Betrachtung astronomischer Ereignisse, die Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte auseinanderliegen, spielt die zunehmende Tageslänge eine wichtige Rolle.

Der Meridian von Greenwich gilt seit 1884 als internationaler Standard und mit ihm die sich am Umlauf der mittleren Sonne orientierende Greenwich Mean Time (GMT). Sie wurde später ohne entscheidende Änderung der Definition ersetzt durch die Universal Time (UT). Erst 1939 konnte nachgewiesen werden, dass Fluktuationen der Bewegung von Sonne, Mond und Planeten nicht durch Unregelmäßigkeiten von deren Bewegung verursacht wurden, sondern durch Veränderungen der Erdrotation und damit auch durch die Art der Zeitmessung. 1952 schließlich wurde ein neues System, die Ephemeridenzeit (ET) beschlossen. Sie beruht auf den Bewegungen von Sonne und Mond und liefert ein gleichförmig ablaufendes Zeitmaß. Neuere Messungen haben die Definition geringfügig geändert.

Seit 1972 gilt als Zeitmaß die durch Atomuhren definierte SI-Sekunde: 9 192 631 770 Schwingungen der von Caesium-133-Atomen beim Übergang zwischen zwei Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes ausgesandten Strahlung. Die damit bestimmte Zeit ist die "Temps Atomique International" TAI. Für das tägliche Leben, Wirtschaft und Verkehr, ist aber UTC das praktischste Zeitmaß. Um Erdrotation und Atomzeit aufeinander abzustimmen, werden bei Bedarf "Schaltsekunden" eingeführt, zuletzt eine am 1. Januar 2006. Man weiß heute schon, dass Mitte 2007 keine weitere geschaltet wird. Die pro Jahr gemessenen Änderungen der Tageslänge sind sehr gering, sie summieren sich aber über lange Zeiten auf. Das ist wie bei der Änderung der Periode eines Veränderlichen. Auch dort kann eine fortlaufende Änderung um Bruchteile einer Sekunde zu B-R von Stunden führen.

Das moderne Zeitmaß der Astronomen ist die "Terrestrial Time" (TT). Mit internationaler Vereinbarung gilt:  $ET = TT = TAI + 32,184 \text{ s}$ . Wie groß ist nun die Abweichung  $DT = TT - UTC = TAI + 32,184 \text{ s} - UTC$ ?

Sie beträgt im Jahr 2006 erstaunliche +65,184 Sekunden gleich +0,00075 Tage. Damit ist der systematische Fehler, den man begeht wenn man heute z. B. eine Minimumzeit in UT - oder gleichbedeutend in JD - angibt, etwa doppelt so groß wie der mittlere zufällige Fehler der Zeitbestimmung mittels CCD-Beobachtung. U. Bastian (2000) hat schon früher auf diese Problematik hingewiesen. Tabelle 1 zeigt die wachsenden Differenzen TAI - UTC seit 1961. Stephenson und Morrison (2005) beschreiben die Differenzen im Zeitraum 1000 v. Chr. bis heute. Die aus historischen Aufzeichnungen gewonnenen Differenzen aus der Zeit vor Christi Geburt betragen mehrere Stunden.

Für uns Veränderlichenbeobachter sind sicher nur die letzten 100 Jahre interessant. Als Folge der aktuellen Differenz von über einer Minute nehmen die Perioden von Veränderlichen scheinbar ab, wenn man über diesen Zeitraum UTC als Basis für die Umrechnung in JD benutzt.

Es gibt nur eine Möglichkeit, diese Unstimmigkeit zu beseitigen: Alle Zeitangaben müssen auf einer gleichmäßig ablaufenden Zeitskala beruhen, d. h. die auf der Atomsekunde fußende TT ist das Mittel der Wahl! Folglich gibt es ab 2007 auf meinen Lichtkurven zusätzlich zur geozentrischen und heliozentrischen UTC auch die heliozentrische Terrestrial Time:

$TT(\text{hel}) = UTC + 65,184 \text{ s} + \text{hel. Korr.}$        $JD(\text{TT}) \text{ hel} = JD + 0,00075 \text{ d} + \text{hel. Korr.}$

Allen CCD-Beobachtern kurzperiodischer Veränderlicher empfehle ich, ebenso zu verfahren.

Literatur:

Bastian U., 2000: The time coordinate used in the variable-star community, IBVs 4822

Qeester W., 2001: Qualitätssicherung für Beobachter, BAV Rundbrief 50,3; S. 126 und [www.bav-astro.de](http://www.bav-astro.de) klicke auf CCD-Beobachtung

Stephenson F. R., Morrison L. V.: Historical Eclipses in "The light-time effect in astronomy" ASP Conference Series Vol. 335 (2005) 159

Ausführliche Darstellungen des Zeitproblems finden sich in

Kaplan G. H.: The IAU Resolutions on Astronomical Reference systems, Time Scales, and Earth Rotation Models

US Naval Observatory Circular No. 179 (2005) = [arxiv:astro-ph/0602086](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0602086)

Internetseiten der PTB: [www.ptb.de/zeit](http://www.ptb.de/zeit)

Internetseiten des International Earth Rotation Service: [www.iers.org/](http://www.iers.org/) oder [Http://hpiers.obspm.fr](http://hpiers.obspm.fr)

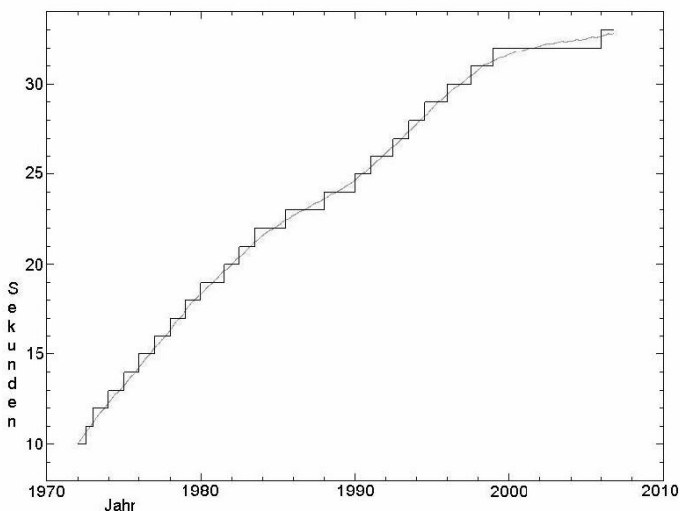


Abb. 1: Die Grafik zeigt den Verlauf der Differenz TAI - UTC seit 1970 (Treppenkurve) und seine Anpassung an die zunehmende Tageslänge (durchlaufende Linie). Die Differenz soll stets kleiner sein als 1 Sekunde.

Table 1: RELATIONSHIP BETWEEN TAI and UTC

(Quelle: <http://maia.usno.navy.mil> geh zu cumul. no. of leap seconds)

Limits of validity (at 0h UTC) TAI-UTC (MJD = Modified Julian Day)

---

1961 JAN 1 = JD 2437300.5:	TAI-UTC = 1.4228180 s + (MJD - 37300.) x 0.001296 s
1961 AUG1 = JD 2437512.5:	TAI-UTC = 1.3728180 s + (MJD - 37300.) x 0.001296 s
1962 JAN 1 = JD 2437665.5:	TAI-UTC = 1.8458580 s + (MJD - 37665.) x 0.0011232s
1963 NOV1 = JD 2438334.5:	TAI-UTC = 1.9458580 s + (MJD - 37665.) x 0.0011232s
1964 JAN 1 = JD 2438395.5:	TAI-UTC = 3.2401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1964 APR 1 = JD 2438486.5:	TAI-UTC = 3.3401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1964 SEP 1 = JD 2438639.5:	TAI-UTC = 3.4401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1965 JAN 1 = JD 2438761.5:	TAI-UTC = 3.5401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1965 MAR1 = JD 2438820.5:	TAI-UTC = 3.6401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1965 JUL 1 = JD 2438942.5:	TAI-UTC = 3.7401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1965 SEP 1 = JD 2439004.5:	TAI-UTC = 3.8401300 s + (MJD - 38761.) x 0.001296 s
1966 JAN 1 = JD 2439126.5:	TAI-UTC = 4.3131700 s + (MJD - 39126.) x 0.002592 s
1968 FEB 1 = JD 2439887.5:	TAI-UTC = 4.2131700 s + (MJD - 39126.) x 0.002592 s
1972 JAN 1 = JD 2441317.5:	TAI-UTC = 10.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1972 JUL 1 = JD 2441499.5:	TAI-UTC = 11.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1973 JAN 1 = JD 2441683.5:	TAI-UTC = 12.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1974 JAN 1 = JD 2442048.5:	TAI-UTC = 13.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1975 JAN 1 = JD 2442413.5:	TAI-UTC = 14.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1976 JAN 1 = JD 2442778.5:	TAI-UTC = 15.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1977 JAN 1 = JD 2443144.5:	TAI-UTC = 16.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1978 JAN 1 = JD 2443509.5:	TAI-UTC = 17.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1979 JAN 1 = JD 2443874.5:	TAI-UTC = 18.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1980 JAN 1 = JD 2444239.5:	TAI-UTC = 19.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1981 JUL 1 = JD 2444786.5:	TAI-UTC = 20.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1982 JUL 1 = JD 2445151.5:	TAI-UTC = 21.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1983 JUL 1 = JD 2445516.5:	TAI-UTC = 22.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1985 JUL 1 = JD 2446247.5:	TAI-UTC = 23.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1988 JAN 1 = JD 2447161.5:	TAI-UTC = 24.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1990 JAN 1 = JD 2447892.5:	TAI-UTC = 25.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1991 JAN 1 = JD 2448257.5:	TAI-UTC = 26.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1992 JUL 1 = JD 2448804.5:	TAI-UTC = 27.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1993 JUL 1 = JD 2449169.5:	TAI-UTC = 28.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1994 JUL 1 = JD 2449534.5:	TAI-UTC = 29.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1996 JAN 1 = JD 2450083.5:	TAI-UTC = 30.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1997 JUL 1 = JD 2450630.5:	TAI-UTC = 31.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
1999 JAN 1 = JD 2451179.5:	TAI-UTC = 32.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s
2006 JAN 1 = JD 2453736.5:	TAI-UTC = 33.0 s + (MJD - 41317.) x 0.0 s