

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: - (1960)
Heft: 69

Artikel: Zur Einführung der Ephemeridenzeit
Autor: Bachmann, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-900124>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ZUR EINFUEHRUNG DER EPHEMERIDENZEIT

Von H. BACHMANN, Zürich

In den meisten Ephemeriden der astronomischen Jahrbücher wird ab 1960 nicht mehr die Weltzeit, sondern die sogenannte *Ephemeridenzeit* verwendet, was eine gewisse Komplikation mit sich bringt, die aber nicht mehr zu umgehen ist. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die *Weltzeit* kein ideales Zeitmass darstellt. Die Weltzeit wird durch die *Erdrotation* definiert und aus der täglichen Bewegung der Sterne bestimmt; die Erdrotation wurde als gleichförmig angesehen (wir wollen dabei nicht auf die philosophischen Schwierigkeiten einer Definition der Gleichförmigkeit des Zeitablaufs eingehen). Abweichungen zwischen den beobachteten und den aus den Gesetzen der Himmelsmechanik berechneten, in den Ephemeriden tabellierten Positionen der Planeten (inklusive Sonne und Mond), die bei allen Planeten in ähnlicher Weise verlaufen, entlarvten aber die unangenehme Tatsache, dass man die Erdrotation nicht mehr als gleichförmig ansehen kann. Sie sind nicht etwa durch Fehler in der Theorie oder in den Berechnungen bedingt. Im Gegenteil: Man definiert die neue sogenannte *Ephemeridenzeit* durch die Gesetze der Himmelsmechanik und bestimmt sie aus den *Bahnbewegungen der Planeten* (in praxi aus der Mondbewegung), und zwar einfach als Wert des Arguments der Ephemeride, für den die berechnete Position mit der beobachteten übereinstimmt. Dass diese Ephemeridenzeit ein idealeres Zeitmass darstellt, geht schon daraus hervor, dass sie mit der *Atomzeit*, d.h. mit dem durch Quarz- und Atomuhren bestimmten Zeitmass, ziemlich gut übereinstimmt. Die Weltzeit wird aber daneben beibehalten, denn nur sie lässt sich momentan bestimmen, während die Ephemeridenzeit nur nachträglich aus langen Beobachtungsreihen bestimmbar ist. Man kennt die Differenz der beiden Zeitmasse für den gegenwärtigen Zeitpunkt nur ungefähr.

Die Erdrotation weist viele Arten von Unregelmässigkeiten auf. Zunächst erwähnen wir die *Bewegung der Erdachse im Raum*: Die Erdachse beschreibt in 26 000 Jahren einen Kegelmantel (sogenannte *Präzession*) und führt noch kleinere Schwankungen mit Perioden von 18,6 Jahren, 0,5 Jahren und 14 Tagen aus (sogenannte *Nutation*). Diese Bewegungen bewirken Aenderungen der astronomischen Koordinatenebenen, die stets berücksichtigt werden müssen. Sodann hat die Erde auch bei einer bestimmten Stellung der Erdachse nicht immer die

gleiche Stellung im Raum, weil sich die Erdachse relativ zum Erdkörper bewegt (sogenannte *Polschwankungen*). Der Pol schwingt sich in komplizierter Bahn bis in etwa 10 Meter Entfernung um den sogenannten mittleren Pol herum, wobei ein Umlauf im Mittel etwa 1,2 Jahre beträgt (dabei ist noch eine jährliche Schwingung superponiert). Die Polschwankungen müssen bei der Zeitbestimmung berücksichtigt werden. Man bezeichnet die aus Sternbeobachtungen ermittelte Weltzeit mit TU_0 ; diese ist wegen der Polschwankungen etwas verfälscht. Die korrigierte Zeit heisst die *Rotationszeit* TU_1 . Sie ist das genaue Mass für die Erdrotation.

Für unser Interesse viel wichtiger sind die *Schwankungen in der Rotationsgeschwindigkeit* der Erde. Man unterscheidet dreierlei Arten:

a) *Eine säkulare Verzögerung der Erdrotation*: Schon 1695 entdeckte HALLEY eine leichte säkulare Beschleunigung in der Mondbewegung. Diese lässt sich zum Teil aus der Gravitationswirkung der Planeten erklären (LAPLACE 1787, ADAMS 1853); der Rest erklärt sich durch eine säkulare Verzögerung der Erdrotation; die durch die Gezeitenreibung hervorgerufen wird (KANT 1754, JEFFREYS 1920). Um auch das beobachtete Verhältnis der Beschleunigung des Mondes zu derjenigen der andern Planeten richtig erklären zu können, braucht man zwar noch weitere Hypothesen, wie diejenige einer kleinen Abnahme des Trägheitsmoments der Erde (UREY 1951) oder einer kleinen Beschleunigung der Erdrotation durch atmosphärische Gezeiten von der Sonne (HOLMBERG 1952).

b) *Langsame unregelmässige Schwankungen*: Langsame unregelmässige Schwankungen in der Mondbewegung, die sich über Jahrhunderte erstrecken, wurden bereits 1870 von NEWCOMB entdeckt. Da sie von allen Planeten mitgemacht werden, wurden sie später als reelle Schwankungen der Erdrotation erkannt. Ihre Ursachen sind nicht genau bekannt; ihre unregelmässige Form kommt durch Anhäufungen von plötzlichen Aenderungen der Rotationsgeschwindigkeit zustande.

c) *Kurzzeitige semi-periodische Schwankungen*: Die Einführung der Quarzuhren (beruhend auf piezoelektrisch erregten Schwingungen eines Quarzkristalls) ermöglichte die Entdeckung jährlicher und halbjährlicher Schwankungen der Erdrotation durch PAVEL und UHINK 1935 und durch STOYKO 1936. Sie können seit 1955 mit den Atomuhren zuverlässig ermittelt werden. Die Atomuhren beruhen auf Resonanzschwingungen eines Atoms oder Moleküls; in Teddington (England) ist eine Caesiumuhr in Gebrauch, und an verschiedenen Orten Ammoniak-

uhren (System MASER = Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Die Erde rotiert im Frühling etwas langsamer, im Herbst etwas schneller (Schwankung der Tagesdauer um $0,001$, des kumulativen Fehlers um $0,05$). Zur Erklärung wurden herangezogen: Jahreszeitliche Verlagerung der Luftmassen, Uebertragung von Drehmoment durch die Winde, Meeresströmungen, Gezeiten in der Erdkruste von Sonne und Mond.

Um die kurzzeitigen Schwankungen auszugleichen, muss an TU_1 eine Korrektur angebracht werden, wodurch man die *Weltzeit* oder *astronomische Zeit* TU_2 erhält. Ist diese Korrektur erst provisorisch bestimmt, so heisst TU_2 die «*temps universel uniforme provisoire*»; ist sie definitiv bestimmt, so heisst TU_2 die «*temps universel uniforme définitif*» und wird auch mit T. U. bezeichnet. Sie gibt die Erdrotation nicht mehr genau wieder, denn sie enthält nur noch ihre unregelmässigen und säkulären Schwankungen.

Die unregelmässigen Schwankungen der Erdrotation können am besten aus der Mondbewegung bestimmt werden. Sie werden durch den von SPENCER JONES 1939 eingeführten Term B repräsentiert, der empirisch aus der Differenz zwischen den beobachteten Mondlängen und den BROWNSchen Tafelwerten für die Mondlängen bestimmt wird (dabei wird natürlich die säkulare Beschleunigung des Mondes abgezogen, damit die unregelmässigen Schwankungen von ihr getrennt werden). Dies ergibt folgende Definition: Man erhält B, indem man von der beobachteten Mondlänge den BROWNSchen Tafelwert und den Ausdruck $4,65 + 12,96 T + 5,22 T^2$ subtrahiert (T bedeutet hier immer die Zeit seit der Epoche 1900 Januar 0,5 in Julianischen Jahrhunderten zu 36525 Tagen) und dazu noch den Ausdruck $10,71 \sin(240,7 + 140,0 T)$ addiert. Der letztere Ausdruck kommt davon her, dass in den BROWNSchen Tafeln bereits eine vorläufige Korrektur für die unregelmässigen Schwankungen der Mondbewegung inbegriffen ist, die rückgängig gemacht werden muss (der sogenannte «grosse empirische Term»). Die unregelmässigen Schwankungen der Erdrotation bedingen, dass zu den NEWCOMBSchen Tafelwerten für die Länge der Sonne die Korrektur $0,074804 B$ hinzugefügt werden muss. Die säkulare Verzögerung der Erdrotation kann nach SPENCER JONES 1939 durch die Korrektur $1,00 + 2,97 T + 1,23 T^2$ dargestellt werden. Somit bedingen die säkulare Verzögerung und die unregelmässigen Schwankungen der Erdrotation, dass man zu den NEWCOMBSchen Tafelwerten für die Sonnenlänge die Korrektur $1,00 + 2,97 T + 1,23 T^2 + 0,074804 B$ zufügen

muss, um die beobachteten Werte zu erhalten (die kurzzeitigen Schwankungen sind viel zu klein, um sich in den Längen der Planeten auszuwirken).

Die angegebene Längenkorrektur entspricht einer Zeitkorrektur von

$$\Delta T = 24^{\text{S}}349 + 72^{\text{S}}318 T + 29^{\text{S}}950 T^2 + 1^{\text{S}}82144 B.$$

Führt man die Ephemeridenzeit $E.T. = U.T. + \Delta T$ ein und fasst man das Argument in den Tafelwerken als Ephemeridenzeit auf, so stimmt der Tafelwert bei der Sonne (und auch bei Merkur und Venus) mit dem beobachteten Wert überein, während man beim Mond noch die Korrektur

$$-8^{\text{m}}72 - 26^{\text{m}}75 T - 11^{\text{m}}22 T^2 - 10^{\text{m}}71 \sin(240^{\circ}7 + 140^{\circ}0 T)$$

anbringen muss. Nach BROWER (1952) hat ΔT im Laufe dieses Jahrhunderts folgende Werte angenommen:

1900,5	-	3,79
1910,5	+	10,28
1920,5	+	20,48
1930,5	+	23,18
1940,5	+	24,30
1950,5	+	29,42
1960,5	+	34

Die jetzigen und zukünftigen Werte sind nur provisorisch, da die unregelmässigen Schwankungen nicht so eindeutig zu bestimmen sind. Die zeitliche Ableitung von ΔT gibt die Variation der Tagesdauer ohne die kurzperiodischen Schwankungen. Nach Bestimmungen mit der Caesiumuhr (STOYKO 1959) wurde der Tag von Juni bis November 1955 um $2 \cdot 10^{-5}$ sec pro Monat kleiner, dann bis Mai 1957 um $4,10^{-5}$ sec pro Monat grösser, dann blieb er bis Anfang 1958 ungefähr konstant. Diese Angaben sind aber noch unsicher.

Die Einführung der Ephemeridenzeit zieht einige ungewohnte Erscheinungen mit sich: Die Weltzeit wurde bisher stets aus dem NEWCOMBSchen Ausdruck

$$A(T) = 18^{\text{h}}38^{\text{m}}45^{\text{s}}836 + 8\,640\,184^{\text{s}}542 T + 0^{\text{s}}0929 T^2$$

für die Rektaszension der fiktiven mittleren Sonne bestimmt, indem man zuerst die Sternzeit aus den Sternen bestimmt und dann den Moment 0^{h} Weltzeit definiert als den Zeitpunkt, in dem die Sternzeit in Greenwich gleich $A_i + 12^{\text{h}}$ ist, wobei

$$A_i = A \left(\frac{i - 2\,415\,020}{36525} \right)$$

und i das Julianische Datum des betreffenden Tages ist. Damit nun

keine Diskontinuität eintritt, wird der Moment 0^h Weltzeit weiterhin so definiert. Da die Variable T aber als Ephemeridenzeit interpretiert werden muss, ist nun $A_i = A (0^h \text{ E.T.})$ und nicht mehr $A_i = A (0^h \text{ U.T.})$ wie früher. Das bedeutet, dass neben der früheren mittleren Sonne (sogenannte «Greenwich mean sun») eine neue, gewissermassen wahre, mittlere Sonne (sogenannte «Ephemeris mean sun») eingeführt wird, deren Rektaszension um $0,000737909 \Delta T$ grösser ist. Deshalb ist die Greenwicher Sternzeit in einem bestimmten Zeitpunkte nicht mehr gleich dem um 12^h vermehrten Wert von A für dieselbe Zeit. Ferner folgt, dass die wahre Sonne in Greenwich nicht genau um $12^h - E$ kulminiert (wobei E die Zeitgleichung ist), sondern ein wenig später. Führt man den sogenannten Ephemeridenmeridian $1,000737909 \Delta T$ östlich von Greenwich ein, so rotiert dieser gleichförmig; und analog zur Weltzeit, die gleich dem Stundenwinkel der alten mittleren Sonne bezgl. dem Greenwicher Meridian minus 12^h ist, ist nun die Ephemeridenzeit gleich dem Stundenwinkel der neuen mittleren Sonne bezgl. dem Ephemeridenmeridian minus 12^h . Neben der ungleichförmigen mittleren Greenwicher Sternzeit, die gleich dem Stundenwinkel des Frühlingspunktes bezgl. dem Greenwicher Meridian ist, führt man die gleichförmige Greenwicher sogenannte Ephemeridensternzeit ein als den Stundenwinkel des Frühlingspunktes bezgl. dem Ephemeridenmeridian.

Nach NEWCOMB ist die Länge des tropischen Jahres in alten Zeiteinheiten gleich $31\,556\,925,974\,74 - 0,530 T$. Anstelle der alten Definition der Sekunde als den 86400 . Teil des mittleren Sonnentages hat man nun eine neue Definition eingeführt (IAU-Generalversammlung, Dublin 1955):

- 1 Ephemeridensekunde = $1/31\,556\,925,974\,74$ des tropischen Jahres für die Epoche 1900 Januar 0,5;
- 1 Ephemeridentag = 86400 Ephemeridensekunden.

Diese neuen Einheiten sind im Gegensatz zu den alten konstant. Berücksichtigt man nur die säkulare Verzögerung der Erdrotation, so hat man in Ephemeridensekunden :

- 1 mittlerer Sonnentag = $86400 + 0,00164 T$,
- 1 mittlerer Sterntag = $86164,090538 + 0,00164 T$,
- Dauer der Erdrotation = $86164,098926 + 0,00164 T$.

Trotzdem diese verschiedenen Arten von Tageslängen nicht konstant sind, bleiben aber ihre Verhältnisse konstant.

(Eingegangen: 20. März 1960.)