

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 58 (1967)
Heft: 12

Artikel: Das Normalmass "Sekunde"
Autor: Buser, M.S.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916262>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

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

Das Normalmass «Sekunde»

Von M. S. Buser, Zürich

529.76

Die Sekunde als Einheit des Zeitmaßstabes wurde in diesem Jahrhundert zu verschiedenen Malen neu definiert (1934, 1936, 1956, 1964). Diese Neudefinitionen wurden durch die Verbesserung der Zeitmesser ermöglicht, welche durch Integration inkrementaler Zeitabschnitte einen fortlaufenden Zeitmaßstab erzeugen. Ein Ausschnitt dieses Maßstabs wird «Zeit» genannt und ist das Mass für die Dauer eines Vorgangs. Im Gegensatz hiezu wird der Ort eines Zeitpunkts auf der Zeitachse gegenüber einem festgelegten Referenzursprung mit «Epoche» bezeichnet. Diese ist massgebend für die Festlegung von Ereignissen.

Dass heute verschiedene Zeitmaßstäbe nebeneinander verwendet werden, führt hin und wieder zu Verwirrungen, umso mehr, als die Normalsekunde als Grundeinheit der Zeitmessung nicht zu Referenzzwecken an irgend einem Ort aufbewahrt werden kann. In chronologischer Reihenfolge sollen daher die verschiedenen Definitionen der Normalsekunde besprochen werden.

1. Einleitung

Zeit- und Frequenznormale gewinnen ständig an Bedeutung. Der ursächliche Grund liegt wohl darin, dass die Zeit, und durch den reziproken Zusammenhang daraus abgeleitet, die Frequenz, den genauest etablierten Maßstab der Physik darstellt. Nimmt man die Frequenz eines Cs^{133} -Resonators einerseits (ca. 10^9 s^{-1}) und die bis heute verstrichene Beobachtungsdauer andererseits (ca. 10 Jahre $\triangleq 3,15 \cdot 10^8 \text{ s}$) als Vergleichsbasis, so erstreckt er sich mit einer gleichförmig anzunehmenden Einteilung über 16 Größenordnungen. (Ein Längenmaßstab mit atomarer Einteilung müsste sich vergleichsweise über 1000 km erstrecken.)

Da die Zeit an periodisch wiederkehrenden Phänomenen gemessen wird, und die Periodendauer für unsere Zeitvergleiche sich an atomare sowie astronomische Vorgänge anlehnt, sollen mit diesem Aufsatz die Zusammenhänge und Definitionen etwas beleuchtet werden.

Ein zweiter Aufsatz wird auf Probleme des Zeit- und Frequenzvergleichs hinweisen und sich mit Anwendungen des Zeitmaßstabes befassen, können doch Navigationsprobleme im weiteren Sinne mit einer Zeitskala und den Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen gelöst werden.

2. Scheinbare Sonnenzeit

Die scheinbare Bewegung der Sonne war von jeher die Grundlage des menschlichen Zeitbegriffes. Würde der scheinbare Durchgang der Sonne durch eine lokale Meridianebene immer in gleichen Zeitabschnitten erfolgen, so könnte aufgrund dieses astronomischen Vorgangs ein Zeit-

En qualité d'unité de temps, la seconde a subi au cours de ce siècle diverses définitions nouvelles (1934, 1936, 1956, 1964). Ces nouvelles définitions furent rendues possibles par suite de l'amélioration des instruments de mesure chronométriques, produisant par l'intégration d'intervalles incréments une échelle de temps continue. Une section de cette échelle est appelée «temps» et sert d'unité de mesure de la durée d'un phénomène. A l'inverse, le lieu d'un point chronologique situé sur l'axe du temps par rapport à une origine de référence déterminée, est dénommé «époque». Cette dernière sert de base pour préciser des événements.

Le fait qu'actuellement plusieurs échelles de temps sont appliquées simultanément prête parfois aux confusions, ceci d'autant plus que la seconde-étalon, servant d'unité de base de la mesure du temps, ne saurait être conservée à titre de référence dans un lieu déterminé. Les diverses définitions de la seconde-étalon doivent de ce fait être discutées en observant leur succession chronologique.

normal definiert werden. Die scheinbare Sonnenbewegung ergibt sich aus der Rotation der Erde um ihre Achse (die nicht konstant ist; siehe Abschn. 5 und 6) und der Erdumlaufbahn um die Sonne (annähernd elliptisch, und durch Mond und Planeten gestört).

Wegen der höheren Bahngeschwindigkeit im Perihel ¹⁾ (Fig. 1) ist der pro Erdumdrehung bestrichene Bahnwinkel grösser, als im Aphel ²⁾ und damit die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen der Sonne länger. Ein Wintertag auf der Nordhalbkugel ist also länger, als ein Sommertag, was der Erfahrung scheinbar widerspricht!

Der Zusammenhang zwischen scheinbarem und mittlerem Sonnentag wird durch die Zeitgleichung beschrieben. Die grösste Abweichung tritt anfangs November auf und beträgt ca. 16 min. Die scheinbare Sonnenzeit kann an einer Sonnenuhr abgelesen werden (antike Observatorien in New Delhi und Jaipur, Indien), und eignet sich aus den genannten Gründen nicht zur Ableitung eines Zeitnormals.

3. Mittlere Sonnenzeit

Wird die Länge der scheinbaren Sonnentage ausgemittelt, so erhält man einen mittleren Sonnentag, der durch 86 400 geteilt, die Definition der mittleren Sonnensekunde liefert. Diese Einheit fällt jedoch zufolge verschiedener Einflüsse wiederum nicht konstant aus, da sie an die komplexe Rotation der Erde gebunden ist.

¹⁾ Sonnennaher Scheitelpunkt der Erdbahn-Ellipse.

²⁾ Sonnenferner Scheitelpunkt der Erdbahn-Ellipse.

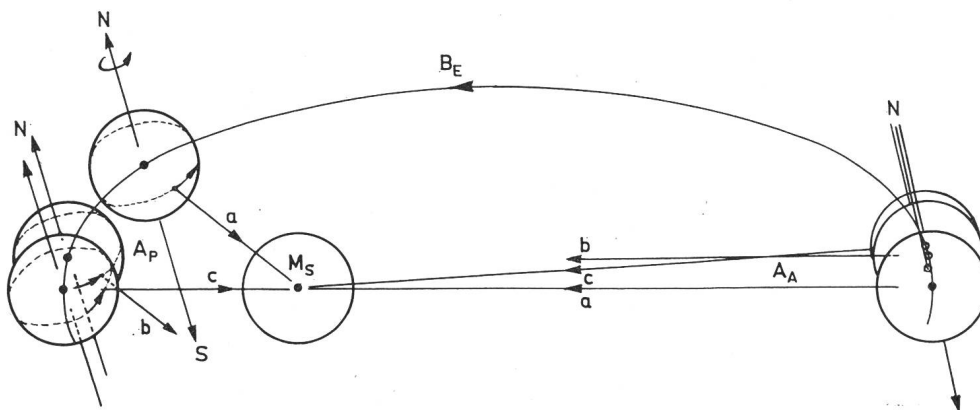


Fig. 1

Nach dem Keplerschen Gesetz bestreicht der Bahnvektor in gleichen Zeiten gleiche Flächen: A_P Fläche im Perihel = A_A Fläche im Aphel

a und c Fahrstrahl zur Sonne; b Fahrstrahl nach 360° Erddrehung; B_E Erdbahn; N, S Norden, Süden

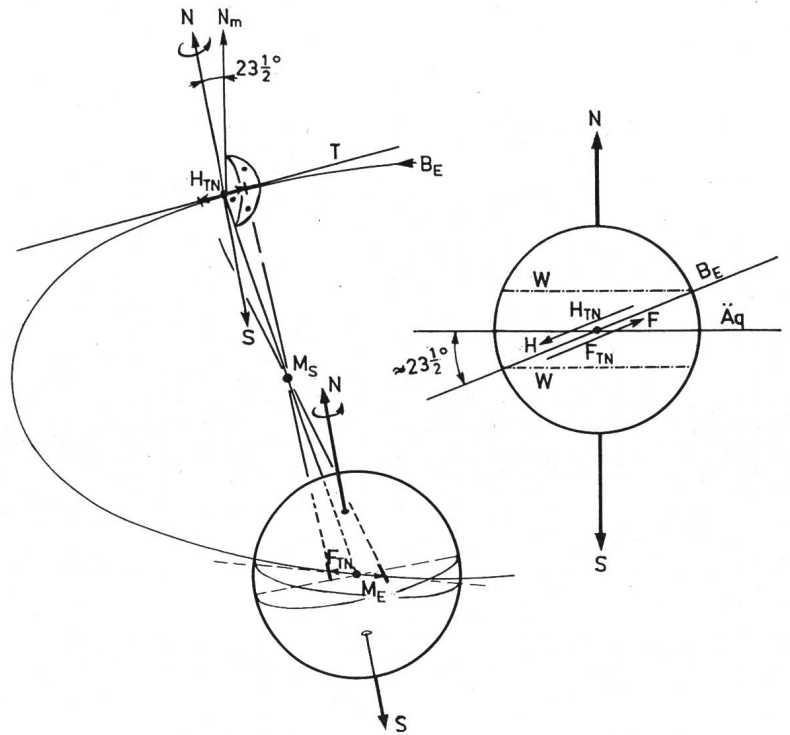
Zum Einrichten von c auf den Sonnenmittelpunkt M_S ist im Perihel ein grösserer Drehwinkelzusatz der Erde, also eine längere Zeit nötig, als im Aphel

Fig. 2

Die Rotationsachse der Erde bildet mit dem Lot auf die Bahnebene einen Winkel von ca. $23\frac{1}{2}^\circ$. Bahn- und Äquatorialebene stehen im selben Winkel zueinander

Im Laufe eines Jahres verläuft die scheinbare Sonnenbewegung auf einem Grosskreis, der die Wendekreise W berührt

H , F Bewegungsrichtung im Herbst und im Frühling;
 H_{TN} , F_{TN} Herbst- und Frühlings-Tag- und Nachtgleiche;
 B_E Erdbahn mit T Bahntangente; M_S , M_E Sonnen- bzw. Erdmittelpunkt; N , S Norden, Süden

4.3 UT₂

Die Polhöhenchwankungen der Erde sind aber nicht die einzigen periodischen Variationen. Durch Massenverschiebungen (Eisbildung) treten ausserdem jahreszeitliche Schwankungen in der Grösse von 10^{-8} auf, die ebenfalls ausgeglichen werden können, was bei der Neudefinition von 1936 geschehen ist und durch den Index «2» angedeutet wird.

Zeitmessungen in UT₂ beruhen somit auf der mittleren Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation, wobei periodische Schwankungen ausgeglichen, aber sekuläre und unregelmässige Schwankungen immer noch von Einfluss sind. Diese Unregelmässigkeiten sind zwar relativ gering, liegen aber dennoch um Grössenordnungen höher, als die Konstanz atomar erzeugter Normalfrequenzen, deren Stabilität heute im Bereich von 10^{-11} bis 10^{-13} liegt. Vergleichsweise liesse sich mit einem Längenmaßstab der Präzision 10^{-11} die Distanz Erde-Mond auf 3 mm genau bestimmen!

5. Siderische Zeit ST

Diese vor allem in der Astronomie gebräuchliche Zeiteinteilung stützt sich auf den Durchgang eines bestimmten Fixsterns durch die Meridianebene des Beobachtungspunktes (Stern im Sternbild des Widders). Ein siderischer Tag wird in 24 sid. h zu 60 sid. min mit je 60 sid. s eingeteilt. Zuzufolge der unter Abschnitt 4.2 angegebenen Gründe, misst ein sid. Tag in mittlerer Sonnenzeit gemessen etwa 23 h 56 min 4,09 s.

Das sid. Jahr ist die wahre Zeitspanne für einen Erdumlauf um die Sonne. Im Vergleich zum Sonnen-, oder tropischen Jahr von 365,242 198 79 mittleren Sonnentagen, ist das siderische Jahr ca. 20 min länger, da es sich auf einen Fixpunkt der Erdbahn, und nicht auf die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche bezieht, die zufolge Präzession und Nutation der Erdachse (Kreisel, siehe Fig. 4) gegenüber einem fixen Bahnpunkt schwankt. Da die momentane Präzession in westlicher Richtung verläuft, findet die Tag- und Nachtgleiche früher statt, als dies ohne Präzession der Fall wäre. Die Periodendauer der Präzessionsbewegung beträgt etwa 25 800

4. Universalzeit UT

Wie auch die mittlere Sonnenzeit basiert die Universalzeit auf der Erddrehung. Ihr Maßstab wurde derart gewählt, dass die lokale UT-Mittagszeit möglichst genau mit dem Durchtritt der Sonne durch die lokale Meridianebene zusammenfällt.

4.1 UT₀

Ein gleichförmiger Zeitmaßstab mit dieser Definition, setzt eine gleichförmige Rotation der Erde voraus. Zuzufolge periodischer, sekulärer und unregelmässiger Variationen der Rotationsgeschwindigkeit der Erde, ist aber dieser Maßstab nicht gleichförmig, sondern unterliegt denselben Schwankungen. Werden diese nicht ausgemittelt, so ist die Einheit der Universalzeit mit der mittleren Sonnensekunde identisch und diesbezügliche Zeit- oder Epocheangaben werden mit UT₀ bezeichnet (Universal-Time 0=unkorrigierte Universalzeit.)

4.2 UT₁

Genauer als der Durchgang der Sonne, ist derjenige von Fixsternen durch die Meridianebene zu bestimmen. Ein solcher Sterntag (siehe Abschnitt 5) sollte bei homogener Erdrotation immer gleich lang sein. Das Jahr hat aber einen Sterntag mehr als Sonnentage (Abschnitt 5, Fig. 3), und der genaue Zusammenhang ist gegeben durch:

1 mittlerer Sonnentag = 1,002 737 909 301 siderische Tage und daraus die bis 1934 verwendete Sekundendefinition:

$$1 \text{ s} = \frac{1,002\,737\,909\,301}{86\,400} \text{ siderische Tage}$$

Diese Skala ist gegenüber periodischen Polhöhenchwankungen ausgeglichen, worauf mit dem Index «1» hingewiesen wird.

Jahre (= 1 platonisches- oder grosses Jahr), sodass in dieser Zeitspanne Sommer und Winter bezüglich der Erdbahn einmal ihre Rolle vertauschen. Die überlagerte Nutationsbewegung verläuft rascher (Periodendauer 18,6 Jahre, Amplitude 9,6 Bogensekunden = Sarosperiode).

Die mittlere siderische Zeit, ist die über den geringen Nutationseinfluss ausgeglichene scheinbare sid. Zeit.

6. Ephemeriden-Zeit ET

Die Zeitskala UT_2 ist, wie schon erwähnt, mathematisch nicht erfassbaren Schwankungen unterworfen. Man schreibt diese Effekte z. T. Umformungsprozessen im Erdinnern zu, die Veränderungen des Erddurchmessers zur Folge haben. Auch Reibungsverluste der Ebbe-Flutbewegung nehmen ihren Einfluss (Grössenordnung ms pro Jahr).

Um aber eine gleichförmig ablaufende Zeitskala zu erhalten, wurde 1956 eine neue Definition der Sekunde gegeben:

$$1\text{ s} = \frac{\text{Tropisches Jahr 1900, Januar 0, 12 h ET}}{31\,556\,925,9747}$$

Diese Definition setzte ganggenaue Zeitmesser voraus, mit denen die einmal pro Jahr mögliche Beobachtung bis auf

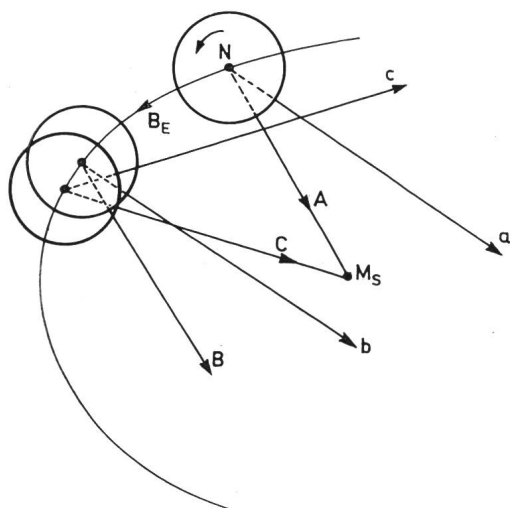


Fig. 3

Projektion der Erdbahn B_E auf die Äquatorialebene

A Fahrstrahl zur Sonne; B ursprünglicher Fahrstrahl zur Sonne nach 360° Erddrehung; a, b Fahrstrahl zu einem Fixstern nach 360° Erddrehung; C Fahrstrahl zur Sonne nach $360^\circ + x^\circ$; c ursprünglicher Fahrstrahl zum Fixstern nach einem Sonnentag

die vierte Stelle hinter dem Komma verifiziert werden konnte. Diesem messtechnisch unbequemen Umstand wurde dadurch begegnet, dass aus der Rotation der Erde-Mond-Paars ET rechnerisch bestimmt wurde.

Als Bezugsbasis gilt also die Dauer, die das tropische Jahr hätte, wenn die scheinbare Sonnenbewegung gegenüber der angegebenen Bezugsepoche in gleichem Masse fortschreiten würde.

Diese Zeitskala ist also gegenüber Einflüssen der Bahnexzentrizität und periodischen Bewegungen der Erdbachse ausgeglichen und stellt darum einen gleichförmigen Zeitablauf dar. Mit der ET-Skala wird somit die alljährlich wiederkehrende astronomische Beziehung zwischen Himmelskörpern beschrieben.

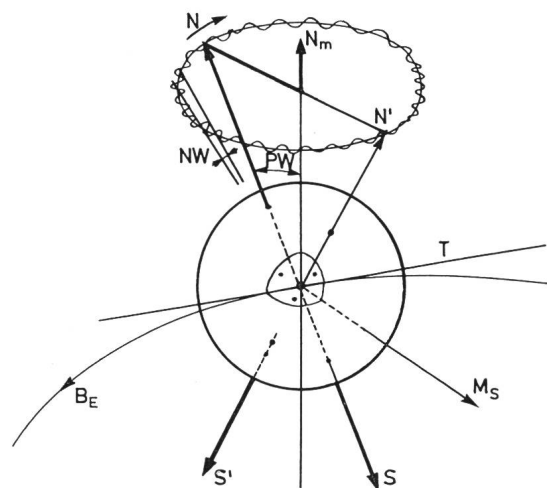


Fig. 4

Präzessions- und Nutationswinkel P_W und N_W

N, S heutige Nord-Südrichtung; N', S' Nord-Südrichtung in 12 900 Jahren; M_S Fahrstrahl zum Sonnenmittelpunkt

7. Atomzeit AT

Um die Definition der Ephemeridensekunde leichter zugänglich zu machen, wurde sie (wie das Normalmeter) auf ein invariant angenommenes atomares Phänomen bezogen. Als Referenz gilt die von äusseren Feldern abgeschirmte Transitfrequenz von Cäsium 133 (Übergang zwischen den beiden hyperfeinen Niveaus $F = 4$, $m_F = 0$ und $f = 3$, $M_F = 0$ des Grundzustands $2S_{1/2}$). Der Betrag dieser Frequenz wurde an der 12. Generalkonferenz für Mass und Gewicht 1964 in Paris vorläufig mit 9 192 631 770 Hz definiert.

Zu diesem Resultat ± 20 Hz hatten die Messungen von Markowitz, Hall, Essen und Parry geführt, bei denen von 1955 bis 1958 die Frequenz eines Cäsium-Resonators mit der Ephemeridensekunde verglichen wurde. Die Toleranz von ± 20 Hz, entsprechend $\pm 2 \cdot 10^{-9}$, rührt im Wesentlichen von der Unsicherheit der astronomischen Beobachtung her, und nicht von Unregelmässigkeiten der Frequenz.

8. Vergleiche

Aufgrund dieser Definition sind also der AT- und der ET-Maßstab über etliche Jahre als identisch zu betrachten. Die Langzeit-Übereinstimmung kann alljährlich besser beurteilt werden, da ja die Kalibrierung vom Verhältnis der Beobachtungsunsicherheit (relativ konstant) zur gesamten Beobachtungsdauer (ständig zunehmend) abhängt. Die beiden Zeitskalen ET und AT werden als gleichförmig ablaufend angenommen und bilden die Zeitbasis für Sterntafeln, Navigationskarten und physikalische Zeitmessungen.

Für sämtliche technologischen Anwendungen, welche die Erde als Referenzplattform benutzen, ist jedoch die Universalzeit der praktische Maßstab. Für Zeit und Epoche in Schifffahrt und Flugwesen, wie auch für Satelliten-«tracking», wird auf UT_2 Bezug genommen.

Wegen der genannten Unregelmässigkeiten der Erdrotation sind aber AT und UT_2 nicht identisch und der Unterschied zwischen beiden ist nicht konstant, sondern wird alljährlich vom «Bureau International de l'Heure», Paris, bestimmt und bekannt gegeben. Für 1966 und 1967 wurde die UT_2 -Sekunde $3000 \cdot 10^{-10}$ länger gewählt, als die AT-Sekunde. Auf diese Weise entsteht eine von AT abgeleitete, ange-

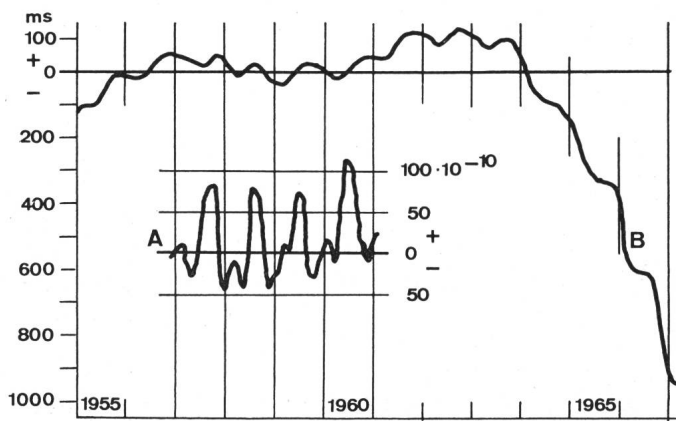


Fig. 5

Relative Schwankung der Erdrotation bezüglich eines Atomnormals (A) (gemessen in Bezug auf AT oder ET) und der durch die Unkonstanz der Rotationsgeschwindigkeit aufintegrierte Zeitfehler (B) (Nach L. Essen und Observatorium Neuenburg)

näherte UT₂-Sekunde mit «äquidistanter» Massabteilung, die jedoch von AT etwas abweicht (Offset genannt).

Dennoch fällt dieser von AT abgeleitete UT₂ Maßstab nicht mit der astronomischen UT₂-Epoche zusammen, was aber durch schrittweise Korrekturen ausgeglichen wird. Der Offset wird derart gewählt, dass möglichst wenig Schrittkorrekturen von 100 ms benötigt werden, und die grösste absolute Abweichung einen festgelegten Betrag nicht übersteigt.

Um dem menschlichen Zeitempfinden gerecht zu werden, wird die Lokalzeit von UT₂ dem lokalen Mittag angenähert, was mittels der bekannten Einteilung in 24 Zeitzonen mit je einer Stunde Differenz erreicht wird.

Bei den ständig wachsenden Forderungen an Zeit- und Frequenzpräzision in Physik und Fernmeldetechnik, ist es also unumgänglich zu wissen, auf welche Referenz Bezug genommen wird. Auf Grund des Gesagten wird verständlich, dass zwei voneinander um $3 \cdot 10^{-8}$ verschieden definierte Frequenzen trotzdem zusammenfallen können, wenn nicht für beide dieselbe Zeitnorm verwendet wurde.

Zur Illustration zeigt Fig. 5 die am gleichförmig ablaufenden AT-Maßstab gemessene Unkonstanz der Erdrotation.

Literatur

- [1] L. Essen: Atomic Clocks. Research applied in Industry 15(1962)6, S. 255...260.
- [2] J. A. Barnes and R. C. Mockler: The NBS Time Scale and its Relation to other Time Scales. In: Progress in Radio Science 1960...1963. Vol. 1: Radio Standards and Measurements. Amsterdam, Elsevier 1965.
- [3] J. A. Barnes and D. H. Andrews: The NBS-A Time Scale. Its Generation and Dissemination. Trans. IEEE Instrumentation and Measurement IM-14(1965)4, S. 228...232.
- [4] D. H. Andrews: LF-VLF Frequency and Time Services of the National Bureau of Standards. Trans. IEEE Instrumentation and Measurement IM-14(1965)4, S. 233...237.
- [5] L. Mooser: Normalzeit und Normalfrequenz NTZ 20(1961)1, S. 1...4.

Adresse des Autors:

M. S. Buser, dipl. Ingenieur ETH, Mitarbeiter am Institut für Fernmeldetechnik der ETH, Sternwartstrasse 7, 8006 Zürich.

Besonderheiten der öffentlichen Beleuchtung in Basel¹⁾

Von H. Gloor, Basel

628.971.6(494.231.1)

Wie bei andern städtischen Elektrizitätswerken sind auch in Basel pro Flächeneinheit viele Strassen zu beleuchten. Es entfallen hier auf 2385 ha 288 km Strassen, aufgeleuchtet durch 11 373 Leuchten mit einem Anschlusswert von 2039 kW. Für die Speisung der Leuchten sind 182 Netzanschlüsse (Schaltstellen) vorhanden und 348 010 m Kabel verlegt.

Wenn man die öffentliche Beleuchtung zu betreuen hat, muss man sich immer wieder fragen: Was soll erreicht werden und wie erreicht man das gesteckte Ziel auf wirtschaftliche Art und Weise?

Zu dieser Frage ist folgendes zu bemerken:

Der Zweck der Strassenbeleuchtung ist in erster Linie, auf Strassen, Plätzen und Kreuzungen — nach Einbruch der Dunkelheit — so gute Sehbedingungen zu schaffen, dass Unfälle möglichst vermieden werden. Dazu gehört in einer Stadt, wo Hauptstrassen und Quartierstrassen in kurzen Abständen wechseln, eine gute Abstufung der Beleuchtungsstärken.

In Quartierstrassen wird eine gute Beleuchtung gewünscht, solange sich noch viele Leute auf der Strasse aufhalten. Später ist eine reduzierte Beleuchtung ebenso wünschenswert, um die Nachtruhe nicht durch die Strassenbeleuchtung zu stören. Die zweiflammigen Leuchten ermöglichen es, die Beleuchtung um 20.30 Uhr zu reduzieren, ohne die Gleichmässigkeit zu beeinträchtigen.

Wie das gesteckte Ziel wirtschaftlich erreicht werden kann, dazu sollen drei Faktoren näher betrachtet werden:

¹⁾ Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung der Schweiz. Beleuchtungs-Kommission vom 16. November 1966 in Basel.

Stellt man sich vor, dass im Verlaufe eines Jahres nur 2...3 schwere Unfälle vermieden werden, weil die öffentliche Beleuchtung das sofortige Erkennen der Gefahr ermöglicht hat, bekommen die Auslagen für Erstellung und Unterhalt der Installationen sofort einen andern Aspekt. Was durch eine gute Strassenbeleuchtung an Unfällen vermieden wird, ist nicht eindeutig erfassbar, muss jedoch als positiver Faktor für die Erstellung guter Beleuchtungsanlagen gewertet werden. Dabei darf man die menschliche Seite nicht ausser acht lassen. Denke man z. B. an die Folgen, wenn der Vater einer Familie durch den Unfalltod entrissen wird. Mit andern Worten, es ist Aufgabe der Allgemeinheit, des Staates, die Menschen nach Möglichkeit vor Unfällen zu schützen. Dazu gehört, wie die Verbesserung des Strassennetzes auch die Verbesserung der öffentlichen Beleuchtung.

Technisch und finanziell besser erfassbar sind die Erstellung und der Unterhalt der Strassenbeleuchtung. In Basel wurden auf Plätzen und wichtigen Kreuzungen Zentralmasten gestellt mit einer Lichtpunkthöhe von 16 m und mit 4...6 Tiefstrahlern, bestückt mit 250- oder 400-W-Quecksilber-Hochdrucklampen. Teilweise werden an Strassenüberspannungen Doppelleuchten aufgehängt, in die je nach Bedürfnis ebenfalls 250- oder 400-W-Lampen eingesetzt werden können. Besonderes Augenmerk wird den Fussgängerstreifen gewidmet. Es wird darauf geachtet, dass Fussgänger schon auf dem Trottoir sicher wahrgenommen werden können. Dies erlaubt dem Fahrzeugführer, im Notfall rechtzeitig auf die Bewegungen der Fussgänger zu reagieren.