



## Moderne Zeitmessung

Josef Mitter <sup>1</sup>, J. Fuchs <sup>2</sup>, Peter Bachmann <sup>3</sup>, H. Halling <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *B. A. für Eich- u. Verm., 1080 Wien, Friedrich-Schmidtplatz 3*

<sup>2</sup> *Universität Innsbruck, 6020 Innsbruck*

<sup>3</sup> *B. A. für Eich- u. Verm., 1080 Wien, Friedrich-Schmidtplatz 3*

<sup>4</sup> *Reaktorzentrum Seibersdorf*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **58** (5), S. 159–162

1970

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Mitter_VGI_197017,  
Title = {Moderne Zeitmessung},  
Author = {Mitter, Josef and Fuchs, J. and Bachmann, Peter and Halling, H.},  
Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
Pages = {159--162},  
Number = {5},  
Year = {1970},  
Volume = {58}  
}
```



Liegt die  $s$ -Skala des durchsichtigen Zylinders  $Z_2$  oberhalb der Abszissenachse (Abb. 3), wird der Abstand der  $s$ -Skala von der Abszissenachse etwa durch eine auf dem durchsichtigen Zylinder, senkrecht zur Skala, beidseitig derselben angeordneten Millimeterteilung abgelesen und die  $s$ -Skala um dieselbe Millimeter-Strecke unterhalb die Abszissenachse gedreht. Der dort unter  $s$  in Meter an der Hyperbelschar abgelesene, bzw. hineingeschätzte Wert von  $\delta s$  ist jetzt natürlich positiv zu nehmen.

Ist weiters die abgelesene Schrägdistanz am D110 unter 100 m, so liest man, da  $\delta s$  auch proportional der Streckenlänge ist,  $\delta s$  für den 10fachen Betrag der Schrägdistanz an der Rechenwalze ab und dividiert diesen Wert durch 10. Ist zum Beispiel  $s^1 = 25$  m, so liest man an der Walze  $\delta s$  für 250 m ab; dies ergibt für eine bestimmte Stellung der Walze etwa 6 cm, daher ist  $\delta s$  für 25 m gleich 6 mm.

## Referat

### Moderne Zeitmessung

Die Fachgruppe „Meßtechnik“ des Österr. Vereines für Elektrotechnik (ÖVE) und des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines (ÖIAV) behandelt ausgewählte Kapitel der Meßtechnik in Vortragsreihen. Der am 1. Dezember 1969 im großen Saal des Ingenieurhauses in Wien I., Eschenbachgasse 9, abgehaltene Zyklus über „Zeitmessung“ brachte in drei Vorträgen auch für den Geodäten einen derart wertvollen Einblick in die Probleme der modernen Zeitmessung, daß diese in Kurzreferaten der Kollegenschaft vermittelt werden sollen.

Die Verbindung der Zeitmessung mit der Geodäsie bei der astronomischen Positionsbestimmung braucht nicht extra erwähnt werden, weniger geläufig dürften aber die Zusammenhänge sein zwischen den modernen Zeitnormalen in Form von Frequenznormalen und der elektronischen Streckenmessung als Maßstabträgern sowie die Prinzipien und inneren Probleme der Kurzzeitmessung, die der Laufzeitmessung bei elektronischer Distanzmessung bzw. der Phasenvergleichsmessung entspricht.

Da das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen vor der Anschaffung einer Atomuhr (Cäsium-) steht und der gesamte öffentliche Zeitdienst in Österreich in nächster Zeit neu organisiert bzw. autonom für Österreich aufgezogen werden soll, um international unabhängig zu werden: geplante Zusammenarbeit zwischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Universitätssternwarte Wien, Österr. Post- und Telegraphenverwaltung und ORF, scheint es umso mehr am Platze, einen Überblick über die „Zeitsituation“, die moderne Entwicklung und die damit verbundenen Probleme in Kurzfassungen der drei Vorträge:

Univ.-Prof. Dr. phil. J. Fuchs/Innsbruck: *Die Zeit*,

Dipl. Ing. P. Bachmann/BAfEuV, Wien: *Die Realisierung des Zeit und Frequenznormalen* und

Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Halling/Reaktorzentrum Seibersdorf: *Kurzzeitmeßtechnik*

zu bringen.

J. Mitter

### Die Zeit — Technische und wissenschaftliche Probleme der Zeitmessung

#### Kurzfassung des Vortrages von J. Fuchs, Innsbruck

Nach einem kurzen interessanten Überblick über frühere Zeitmeßgeräte, wie Wasseruhren und Räderuhren mit Waag- und später Kreuzschlagnormale und der Kontrolle dieser Zeitmesser mittels Sonnenuhren, wandte sich der Vortragende der Entwicklung moderner Zeitmeßgeräte zu, wie sie sicherlich mit dem Bau der Pendeluhr durch Huygens 1650 begann. Die Pendeluhrn wurden in der Folge dauernd verbessert, bis Riefler und Leroy im 19. Jahrhundert Geräte mit einer Ganggenauigkeit von  $1/100$  Sekunden bauten und Shortt und Schuler schließlich Gänge von nahezu  $1/1000$  Sekunden erzielten.

Eine völlig neue Epoche der Zeitmessung begann mit der Entdeckung des Piezoelektrischen Effektes durch Curie (1880). 1923 wurde von Marrison in USA die erste piezo-elektrisch gesteuerte

Quarzuhr gebaut. 1930 gelang *Scheibe* und *Adelsberger* an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin der Bau einer Quarzuhr mit einer relativen Frequenzkonstanz von  $10^{-9}$ , d. h. einem Zeitfehler von nur  $10^{-4}$  Sekunden im Tag. Bald wiesen *Scheibe* und *Adelsberger* nach, daß die Erde nicht gleichmäßig um ihre Achse rotiert, sondern im Herbst schneller und im Frühling langsamer. Aber auch unregelmäßige Rotationsänderungen der Erde wurden festgestellt, die auf spontane Massenverlagerungen im Erdinneren zurückzuführen sein dürften.

Gegen 1920 wurde von den Astronomen (durch Nachrechnung von historisch überlieferten Sonnenfinsternissen) festgestellt, daß die Dauer des Tages im Jahrhundert um 0,00164 Sekunden länger wird. Diese dauernde Verlangsamung der Erdrotation wird auf das Phänomen der Gezeitenreibung zurückgeführt.

Auf Grund der Rotationsschwankungen der Erde und dem Effekt der Verlangsamung der Erdrotation kamen die Astronomen und Physiker 1956 überein, daß die aus der unregelmäßigen Rotationsdauer der Erde abgeleitete Zeit nur mehr für die Regelung

1. des bürgerlichen Lebens und des Kalenders,
2. für Zwecke der geodätischen Astronomie und
3. insbesondere für die astronomische Navigation beibehalten werden müsse.

Dieses ungleichförmige, geophysikalische Zeitmaß bekam den eigenen Namen „Weltzeit“ (Universal Time).

Für alle anderen Zwecke wurde die Schaffung gleichförmiger Zeitmaße empfohlen, von denen momentan zwei zur Verfügung stehen:

1. Das aus der Analyse der Mond- und Planetenbewegung der letzten dreieinhalbtausend Jahre sich ergebende verlässlich gleichförmige Zeitnormale des Umlaufes der Erde um die Sonne, das als Inertialzeit in die Fundamentalgleichungen der Mechanik eingesetzt werden kann. Mit diesem Zeitmaß, das den Namen „Ephemeridenzeit“ (Ephemeris Time) erhielt, können Zeiträume von einigen tausend Jahren mit einer Genauigkeit von  $10^{-9}$  gemessen werden. In 2000 Jahren ergibt sich ein Fehler von einer Minute, eine Genauigkeitssteigerung wird hier aber sicher noch zu erzielen sein.

2. Der nächste Anstoß zur Verbesserung der Zeitmessung ging 1945 von dem Astronomen *Hulst* aus, der zeigte, daß die veränderliche Hyperfeinstruktur des Wasserstoffspektrums elektromagnetische Schwingungen von bisher unübertroffener Frequenzkonstanz erzeugen kann. Solche frequenzkonstante Schwingungen fand man bald auch an Cäsium und Thallium. Derzeit wird überwiegend das Cäsiumatom als Frequenznormale verwendet, da bei ihm die Forderung nach Reinheit des Gases am leichtesten zu erfüllen ist. Cäsium Frequenznormale können eine Frequenzkonstanz von  $3 \cdot 10^{-12}$  erzielen, was einen Zeitfehler von  $10^{-4}$  Sekunden im Jahre ergeben würde.

Ein aus den Eigenschwingungen eines Atoms hervorgegangenes Zeitmaß wird als „Atomzeit“ (Atomic Time) bezeichnet. Die damit zu erzielenden Leistungen lassen erwarten, daß für physikalische Zeitmessung kurzer und mittlerer Zeit nur mehr atomare Zeitnormale Verwendung finden sollten. Derzeit sind erfolgreiche Arbeiten im Gange um durch die Synchronisierung aller europäischen Atomuhren eine „Europäische Normalzeit“ zu schaffen, die eine Genauigkeit von  $\pm 1$  Mikrosekunde aufweisen wird. Es ist einzusehen, daß auch weiterhin alle drei Zeitmaße nebeneinander bestehen bleiben müssen. Zur Regelung des bürgerlichen Lebens sowie in der Geodäsie und Nautik wird die an die variabel rotierende Erde gebundene, geophysikalisch definierte „Weltzeit“ benötigt. — Für die Präzisionsmessung kurzer und mittlerer Zeiträume sollte das gleichförmige Zeitmaß der „Atomzeit“ verwendet werden. — Lange Zeiträume von mehreren tausend Jahren lassen sich derzeit nur durch die an die Mond- und Planetenbewegung gebundene ebenfalls gleichförmige „Ephemeridenzeit“ verlässlich messen und datieren.

Abschließend ging der Vortragende auf die wirtschaftliche und wissenschaftliche Bedeutung der Präzisionszeitmessung ein, die über Anforderung der Industrie und Wirtschaft die zuständigen amtlichen Stellen veranlaßten, sich mit der Herstellung und pfleglichen Erhaltung hochkonstanter Frequenz- und Zeitnormale zu befassen und sowohl Frequenzen als Normalzeit mit hoher Präzision der interessierten Öffentlichkeit leicht zugänglich zu machen.

Aus diesem Grund baute auch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen vor über 20 Jahren die erste Quarzuhr in Österreich. Seit 1. 6. 1949 wird unter der Wiener Rufnummer 1509 der Normalstimmtone von 440 Hz, seit 24. 10. 1950 über die Rufnummer 1507 die Normal-

frequenz von 1000 Hz und schließlich seit 21. 10. 1952 unter der Wiener Rufnummer 1505 die „Österreichische Normalzeit“ in Form von Sekundenimpulsen allen Interessenten gantztägig zur Verfügung gestellt.  
*W. Losert*

### Die Realisierung des Zeit- und Frequenznormals

Von *Peter Bachmann, Wien*

Zur Darstellung der Einheiten der Zeit und der Frequenz dienen heute Atomresonatoren als Primärnormale und sehr genaue Sekundärnormale. Quarzoszillatoren werden als Sekundärnormale geringerer Genauigkeit eingesetzt.

In den atomaren Normalen werden sprunghafte Änderungen des Energiezustandes von Atomen, die mit der Absorption bzw. der Emission von elektromagnetischen Wellen verknüpft sind, zur Erzeugung von hochstabilen, definierten Frequenzen verwendet. Als Beispiel für die Funktion eines Atomresonators im passiven Betrieb soll die Caesium Strahlapparatur dienen: Der Atomresonator ist das Meßglied in einem Regelkreis mit dem die Frequenz eines Quarzoszillators laufend auf der Atomresonanzfrequenz gehalten wird.

Heute sind Atomresonatoren mit den Elementen Wasserstoff, Rubidium und Caesium gebräuchlich. Die damit darstellbaren Frequenzen liegen im Bereich zwischen 1 GHz und 10 GHz. Mit Atomnormalen lassen sich sehr hohe Genauigkeiten erzielen: Die Unsicherheit der Darstellung der Einheiten mit der Cäsium Strahlapparatur liegt zwischen  $10^{-12}$  und  $10^{-13}$ , aber auch kommerziell gefertigte Geräte dieses Types erreichen schon  $10^{-11}$ . Rubidium-Gaszellen und Wasserstoff-Maser sind ausgezeichnete Sekundärnormale, ihre Langzeitstabilität liegt zwischen  $5 \cdot 10^{-11}$  und  $10^{-12}$  pro Jahr. Die Bedeutung dieser eher unanschaulichen Zahlenwerte wird durch das folgende Gedankenexperiment beleuchtet: Eine von einem Normal mit dem gleichbleibenden Fehler von  $10^{-12}$  gesteuerte Uhr würde erst nach ca. 30.000 Jahren einen Gangfehler von 1 Sekunde aufweisen!

In Quarzoszillatoren wird der reziproke piezoelektrische Effekt ausgenützt: Ein in bestimmter Weise aus einem Quarzkristall geschliffenes Plättchen ist das frequenzbestimmende Glied einer elektrischen Oszillatorschaltung. Die Frequenz solcher Oszillatoren ist zwar sehr stabil, aber doch noch von Umweltsbedingungen beeinflußt. Durch geeignete Maßnahmen gelingt es aber, die Einflüsse von Temperatur, Schwingamplitude, Betriebsspannung usw. über die praktisch vorkommenden Bereiche sehr klein zu halten. In guten Geräten liegen diese Einflußfehler in der Größenordnung von  $10^{-10}$ . Die unangenehme Eigenschaft der Alterung, d. h. die stetige Zunahme der Schwingfrequenz, ist die für ein Quarznormal kennzeichnende Größe: sie erzwingt den laufenden Anschluß der sekundären Quarznormale an Normale höherer Genauigkeit. Es gelingt heute, die Alterungsgeschwindigkeit bis auf Werte von  $5 \cdot 10^{-11}$  pro Tag zu verringern.

Die in der Regel zwischen 0,1 MHz und 5 MHz liegende Frequenz von Quarzoszillatoren muß durch elektronische Schaltungen vervielfacht und geteilt werden, um einerseits für Frequenzmessungen ein genügend dichtes Spektrum von Normalfrequenzen zur Verfügung zu haben und andererseits durch Summieren der kurzen, durch die Periodendauer der Oszillatorfrequenz gegebenen Zeitintervalle eine Zeitskala aufzubauen. Die Anforderungen an die Teilergeräte hinsichtlich Phasentarrheit und Störsicherheit sind sehr hoch. Für die Frequenzteilung in Quarzuhren haben sich eine Reihe von Schaltungen bewährt, z. B. Mitnahmeteiler und Zählteiler.

Die laufenden Anschlußmessungen von Quarznormalen durch den Empfang der Signale von Zeitzeichensendern bestimmen letztlich die Genauigkeit dieser Sekundärnormale. Es bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten: der direkte Vergleich der Oszillatorfrequenz mit der Trägerfrequenz sowie der Umweg über den Phasenvergleich der Sekundensignale. Die letztere Methode, der Zeitvergleich, wird meist mit oszillographischen Meßverfahren hoher zeitlicher Auflösung durchgeführt. Die Genauigkeit der Anschlußmessungen wird durch viele Faktoren bestimmt. Empfangsstörungen, Schwankungen der Laufzeit der Sendersignale sowie der Empfangsfeldstärke, um nur einige zu nennen, müssen erkannt und durch entsprechende Maßnahmen in ihren Auswirkungen möglichst gering gehalten werden.

Im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen wird das verbindliche österreichische Normal für die Zeit und die Frequenz durch 6 im Dauerbetrieb arbeitende Quarzuhren dargestellt, die durch Zeitvergleich täglich an Normale höherer Genauigkeit angeschlossen werden.

Von dieser Quarzuhrenanlage werden Frequenzen im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz abgeleitet, deren Istwerte aus den Anschlußmessungen auf  $\pm 5 \cdot 10^{-9}$  bekannt sind. Die Abweichungen der erzeugten Zeitskala vom Zeitsystem UTC sind mit einer Unsicherheit von  $\pm 1$  msec feststellbar.

### Kurzzeitmeßtechnik

Von *H. Halling*, Reaktorzentrum Seibersdorf

Die Meßverfahren lassen sich in 2 Gruppen einteilen.

1. Analogverfahren.
2. Digital- oder Zählverfahren

1. Nach dem Prinzip der Wasseruhr wird die Änderung eines Niveaus — zwischen Öffnen und Schließen von Schaltern von einem definierten Anfangszustand aus — als Zeitdifferenzinformation verwertet. Bei Verwendung einer Kondensatorentladung mittels Stromgeneratoren, sowie der Verwendung von Transistorschaltern lassen sich Zeitdifferenzen bis in Größenordnungen von  $10^{-9}$  sec mit einer Genauigkeit von  $\pm 10^{-11}$  sec messen.

Die Zeitdifferenz steht dann als Impulshöheninformation zur Verfügung und mittels Vielkanal können somit Zeitverteilungsspektren aufgenommen werden.

2. Zwischen 2 Zeitmarken wird eine feste Frequenz in einen Zähler eingezählt. Der Zählerstand entspricht dann der Zeitdifferenz  $\Delta t$ . Die Genauigkeit dieser Methode hängt von der Konstanz und Höhe der Frequenz sowie von der Güte der Zeitmarken für Start und Stop ab. Die höchsten verwendeten Frequenzen liegen bei  $\sim 100$  MHz, die Zeitmessung ist damit auf  $10^{-8}$  sec gequantelt.

Durch die Verwendung von Noniusprinzipien kann man noch um einen Faktor 10 genauer messen.

Es wird auch die Kombination der Methoden 1. und 2. zur Zeitmessung herangezogen. Dabei wird die lineare Entladung mit einem Zähler ausgezählt und  $\Delta t$  steht als Zahl zur Verfügung.

Der verwendete  $\Delta t$ -Meßbereich hängt vor allem auch von der Genauigkeit und Konstanz der verwendeten Zeitmarke ab. Auf diesem Gebiet kann man durch eine Vielzahl von Verfahren jedem System entsprechende Zeitmarken erzeugen. Dies erfordert vor allem in der Impulsmeßtechnik den Einsatz von Oszillographen mit hoher Grenzfrequenz. Konventionelle Oszillographen erreichen Grenzfrequenzen von 100 MHz—16 Hz. Mit dem Sampling-Oszillographen lassen sich noch wesentlich höhere Frequenzen erzielen, da die Grenzfrequenz bei diesen Typen nur von der Öffnungszeit des Samplegates abhängt. Käufliche Sampling-Oszillographen haben Öffnungszeiten von etwa  $3 \cdot 10^{-10}$  sec. Die Entwicklung arbeitet schon an  $2 \cdot 10^{-11}$  sec-Typen.

## Mitteilungen

Zum 90. Geburtstag von Professor Dr.-Ing. Alwill Buchholtz am 4. November 1970

Die ganz seltene Gabe des Rückblicks auf eine so lange Reihe von Lebensjahren ist nun Professor Buchholtz beschieden worden.

Der Fluß der Jahre hat ihn einen harten Weg durchwandern lassen, reich an Entbehrungen, unter der schweren Last mehrmaliger Flucht aus den Zerstörungen des Krieges und immer wieder beraubt am mit großem Lebensmut neuerworbenen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Gut. Bei den mit dem Fortschreiten der Zeit leider seltener werdenden Begegnungen mit dem lieben alternden Freund, in Erinnerung an die Vergangenheit, offenbarte sich die ausgeglichene Ruhe und Milde der Beurteilung von Mitmenschen, die ihm seine überreich dargebotene Hilfe und Güte nicht dankten. Trotzdem suchte Professor Buchholtz immer nur die guten Eigenschaften seiner Mitmenschen zu erkennen, war glücklich sie zu finden und übersah weniger ansprechende Züge.

Dies ist wohl auch der Grund, daß alle Menschen, die den Jubilar kennen, ihm freundlich zugeneigt sind. Als Fachmann hat Professor Buchholtz über alle Bereiche der Photogrammetrie hinweg mit seinen Arbeiten die Entwicklung vieler Spezialgebiete gefördert und so seinem Namen unvergängliche Geltung gebracht.

Die Beherrschung vieler Sprachen in Wort und Schrift ermöglichte es Professor Buchholtz, fremde fachliche Gedankengänge zu überblicken, die der allgemeinen Fachwelt im deutsch-