

Paper-ID: VGI\_194920



## Zeitmessung und Quarzuhr

Josef Mitter

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **37** (4–6), S. 148–151

1949

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

```
@ARTICLE{Mitter_VGI_194920,  
Title = {Zeitmessung und Quarzuhr},  
Author = {Mitter, Josef},  
Journal = {{\u}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
Pages = {148--151},  
Number = {4--6},  
Year = {1949},  
Volume = {37}  
}
```



## Zeitmessung und Quarzuhr

Referat über einen Vortrag des Univ.-Doz. Dr. Josef Fuchs

Das konventionelle Urmaß der Zeit ist die Rotationsdauer der Erde. Mit mechanischen (Pendel-) und in neuerer Zeit mit elektrisch angetriebenen (Quarz-) Uhren wird versucht, dieses Urmaß mit größter Schärfe zu erfassen, um Uhren mit möglichst konstantem Gang zu schaffen. Die Quarzuhr ist die genaueste künstlich gechaffene Zeitmeßeinrichtung, die es derzeit gibt. Ihre Konstanz ist von der Größenordnung  $10^{-8}$ , gegen etwa  $10^{-7}$  einer Präzisionspendeluhr, die Gangschwankungen liegen also bei ungefähr  $0.005-0.001$  sec./24 Stunden. Diese hohe Genauigkeit der Quarzuhr läßt sie nun nicht nur für die Lösung von Fragen der Astronomie und Erdmessung, sondern auch für jene der Wechselstrom- und Hochfrequenz-Meßtechnik von größter Bedeutung sein.

In enger Verbindung damit stehen die modernen Verfahren der Distanzmessung mit elektromagnetischen Wellen (Radar-, aber auch elektrisch-optische Methoden), die die Messung kleinster Zeitintervalle zur Aufgabe haben. Die jüngste Entwicklung auf diesem Gebiete der Hochfrequenztechnik rückt diese Methoden aus dem Verwendungsbereich der Flug- und Seenavigation, in jenen der Erd- und Landesvermessung. Auch diese Verfahren setzen zur Erreichung großer Genauigkeit periodische Schwingungsvorgänge (elektromagnetische Wellen) höchster Frequenzkonstanz voraus (Frequenz-Anzahl der Perioden in der Zeiteinheit), denn Schwankungen in der Grundfrequenz der Quarzuhr würden ja Gangfehler bringen, bei den Impulsfrequenzen der Radarmethoden hingegen Entfernungs-(Zeitintervall-)fehler erzeugen. Zusammenfassend ist zu sagen, daß das Problem der Erzeugung frequenzkonstanter Wechselströme, das bisher eigentlich nur im Funkwesen mit dem Anwachsen der Sendestationen (und der Möglichkeit der gegenseitigen Störung eng im Frequenzband nebeneinanderliegender Stationen bei Frequenzschwankungen) eine überragende Bedeutung gewonnen hat, nunmehr weit darüber hinaus von Interesse geworden ist.

In seinem am 24. November 1949 vor dem Österreichischen Verein für Vermessungswesen gehaltenen Vortrag:

„Die Quarzuhr, ihre Verwendung für Präzisionszeit- und Frequenzmessungen“, gab Univ.-Doz. Dr. Fuchs einen leicht verständlichen und ausgezeichneten Überblick über den Stand auf diesem Zweiggebiet, der durch eine anschließende Darstellung der allerjüngsten Entwicklung in Richtung eines absoluten Zeitmaßes in der Atomuhr noch ein besonderes Interesse erweckte.

Der Vortragende begann mit der Erklärung des piezo-(druck-)elektrischen Effektes (Pierre Curie 1880), der zur Erzeugung elektrischer (aber auch mechanischer) hochfrequenter Schwingungen höchster Frequenzstabilität verwendet wird. Er besteht in folgenden Erscheinungen: Wird aus einem Kristall, dessen Achsensystem kein Symmetriezentrum aufweist, z. B. Quarz, ein dünnes Plättchen in bestimmter Lage zum Achsensystem herausgeschnitten und unter Druck gesetzt, so bilden sich auf den gegenüberliegenden gedrückten Flächen elektrische Ladungen verschiedenen Vorzeichens aus. Tritt an Stelle des Druckes gleichgroßer Zug, so wechseln die Ladungen ihre Vorzeichen (Abb. 1).

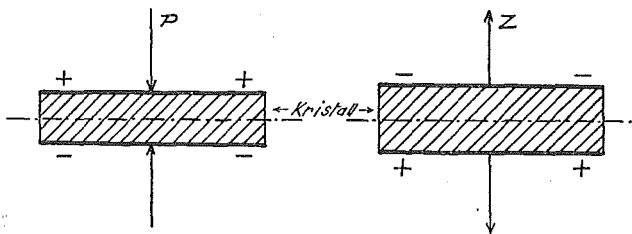


Abb. 1

Die Ausbildung elektrischer Oberflächenladungen wird aus dem inneren Aufbau der Kristalle erklärt. Er besteht aus einem Ionengitter, dessen elektrischer Gleichgewichtszustand durch die Deformation bei Belastung gestört wird. Bei Aufhebung des Druckes sucht der Quarz

durch gedämpfte elastische Schwingungen wieder seinen Ruhezustand zu erreichen, wobei auf den ursprünglich gedrückten Flächen wechselnde elektrische Ladungen auftreten und einen gedämpften Wechselstrom hervorbringen. Legt man in Umkehrung des Vorganges an den Quarz eine Wechselspannung, deren Frequenz gleich oder nahezu gleich der mechanischen Eigenschwingungsfrequenz des Quarzplättchens ist, so wird dieses zum Mitschwingen angeregt und stabilisiert nun seinerseits z. B. in einer Rückkopplungsschaltung die erzeugte Frequenz auf den Wert seiner Eigenfrequenz. Diese Resonanzschwingungen sind von größter Regelmäßigkeit ( $10^{-8}$ ). Die Eigenfrequenzen von Quarzplättchen sind verkehrtproportional der Dicke derselben und betragen beispielsweise für  $d = 1 \text{ mm}$  3 Megahertz, für  $d = 1 \text{ cm}$  300 Kiloherz. Quarze und andere Kristalle, z. B. Turmalin, Rochellesalz usw. eignen sich zum Erzeugen sowohl hochfrequenter als auch tonfrequenter Schwingungen. Eine eventuelle unzulässige Temperaturempfindlichkeit muß dabei kompensiert werden.

Der Piezoeffekt in der zweiten Form wurde schon 1922 von W. G. C a d y im Funkwesen zur Stabilisierung der Sendefrequenzen eingeführt und 1929 von W. A. M a r r i s o n, später von A. S c h e i b e und U. A d e l s b e r g e r zur Entwicklung der Q u a r z u h r verwendet. Sie kann nach dem oben Gesagten als Wechselstromgenerator hoher Frequenzkonstanz bezeichnet werden. Ihr Prinzip ist einfach zu erklären. Eine hochfrequente Wechselspannung von 100.000 Hz aus einem Röhrengenerator wird durch einen thermostatgeregelten ( $\pm 0.01^\circ \text{C}$ ) Kristall stabilisiert und daraus durch stufenweise Frequenzteilung ein 1000 Hz-Wechselstrom erzeugt. Dieser treibt einen Synchronmotor, auf dessen Achse ein Zeigerwerk mit 24-Stundenzifferblatt sitzt.

Der Vortragende zeigte Lichtbilder mit Ansichten der Quarzuhr des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, die zur Gänze in diesem Amt selbst gebaut wurde, sowie von Quarzuhren ausländischer Herkunft, deren eine sich an der Lehrkanzel für Fernmeldetechnik der Techn. Hochschule Wien (Prof. P e t r i t s c h) und eine zweite im Technologischen Gewerbemuseum in Wien befindet.

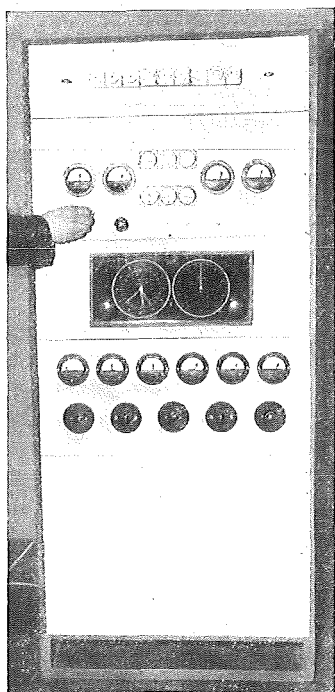


Abb. 2: Vorderansicht

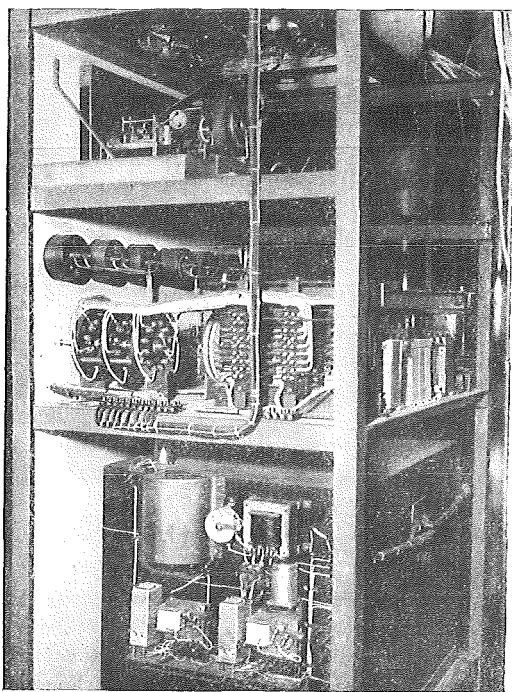


Abb. 3: Rückansicht

Die Quarzuhr des Bundesamtes (Phot. Leo Ernst, New York Times Photos)

Die Rückansicht zeigt 3 Fächer: Im mittleren Fach den Stromversorgungs- und Frequenzwandlungsteil, im unteren den thermostatgeregelten Kristallgenerator.

Die Quarzuhr des Bundesamtes dient in erster Linie der Erzeugung von Normalfrequenzen, also Normalen zur Prüfung und Überwachung anderer Frequenzen, sowie zu Messungen auf dem Gebiete der Hochfrequenztechnik und des Radiowesens, Prüfung von Wellenmessern, anderen Quarzkristallen usw. Hierzu wird eine Quarzfrequenz von 100.000 Hz direkt benutzt. Für niedrigere Frequenzen wird auf elektrotechnischem Wege eine stufenweise Frequenzteilung in 10.000 und 1000 Hz erzielt. Mit diesen beiden Normalfrequenzen kann das gesamte Gebiet der tonfrequenten Wechselströme überprüft werden. Der 1000 Hz-Wechselstrom betreibt analog wie oben einen Synchronmotor, auf dessen Achse noch ein Wechselstromgenerator für 50 Hz sitzt und eine Normalfrequenz für technischen Wechselstrom erzeugt. Die 1000 Hz-Frequenz wird in einem weiteren Arbeitsgang auf 11.000 Hz vervielfacht und diese in  $1/25$  geteilt. Die resultierende 400 Hz-Schwingung stellt die Tonfrequenz des Musiknormaltones  $a^1$  dar.

Sämtliche Normalfrequenzen, die mit einer Konstanz von  $10^{-7}$  erzeugt werden, dienen im Bundesamt selbst zu Messungen und werden an Interessenten, wie z. B. die Ravag, auf Sonderleitungen abgegeben. Der Normalton  $a^1$ , der zur Prüfung von Stimmgabeln dient, wird in Wien seit dem 1. Juni 1949 direkt über das Fernsprechnet an jeden Teilnehmer unter Rufnummer R 59 abgegeben. Wien ist die erste Stadt, die diese Einrichtung besitzt. Gegen Betriebsstörungen ist die Quarzuhr und ihr Frequenzwandlungsteil vollständig und automatisch gesichert.

Um die Genauigkeit der erzeugten Frequenzen kontrollieren zu können, wird täglich eine absolute Frequenzmessung durchgeführt, d. h. es wird die Anzahl der Richtungsänderungen des Wechselstromes in einem genau gemessenen Zeitabschnitt abgezählt. Das Zeigerwerk der Quarzuhr gibt die Quarzzeit als Funktion der Anzahl der Wechselstrom-Polaritätsänderungen an.

Der Vergleich erfolgt mit Hilfe der laufend aufgenommenen Koinzidenzsignale des internationalen Zeitdienstes (Greenwich, Paris, Moskau). Als Maßstab für die Genauigkeit des Zeitdienstes sei die Meßgenauigkeit der Sternwarte Greenwich angeführt, der 30 Quarzuhren zur Verfügung stehen und die derzeit 0.0001 sec./24 Stunden (=  $10^{-9}$ ) beträgt.

Diese unerhört hohe Genauigkeit läßt den Gedanken aufkommen, das Urmaß der Zeitmessung, die Erdrotation, selbst auf seine Konstanz zu prüfen und rückt damit die Klärung verschiedener umstrittener Probleme der Geophysik, der Elastizität des Erdkörpers usw. in den Bereich der Möglichkeit.

Der Bedarf an Quarzkristallen ist durch die weitgehenden Anwendungsmöglichkeiten der Schwingquarze auf hochfrequenztechnischem Gebiet, aber auch in der Ultraschalltechnik zur mechanischen Erzeugung kürzester Materiewellen stark gestiegen, so daß die künstliche Züchtung derselben versucht wird (Amerika), um dem Bedarf nachzukommen.

Alle Kristalle werden einer langdauernden Prüfung unterzogen, um vor allem das als Alterungsprozeß bezeichnete, langsame, aber lineare Ansteigen der Eigenfrequenz (ca. 0.01 bis 0.02 Hz/Jahr), das auf die große mechanische Belastung der Kristallplatten beim Schwingen zurückzuführen ist, scharf zu erfassen. Diese Änderung ist für gute Schwingquarze ziemlich gleichförmig und nur selten sprunghaft.

Im Anschluß gab der Vortragende einen prinzipiellen Überblick über die in Washington vom Bureau of Standards entwickelte *Atomuhr*, die innermolekulare Schwingungen von Ammoniak als absolute Frequenznormale heranzieht. Diese Schwingungen sind keine mechanisch-elastischen wie jene der Kristalle.

Das zugrundeliegende Prinzip geht von der Anordnung der Atome im  $\text{NH}_3$ -Molekül, die tetraederförmig gedacht wird, aus. Treten gleichzeitig zwei Bedingungen auf: ein elektromagnetisches Feld bestimmter Intensität und eine bestimmte kritische Frequenz ( $f = 23.870, 130.000$  Hz) desselben, so kommen innermolekulare Schwingungen zustande, die man sich bildlich etwa als symmetrische Lagewechsel des auf einer Tetraderecke angeordneten N-Atomies gegen die aus den drei H-Atomen gebildete Grundebene vorstellen kann. Da nun das Molekülinnere selbst gegen ziemlich hohe Druck- und Temperaturänderungen unempfindlich ist, so können diese innermolekularen Schwingungsvorgänge als wahre Normalfrequenzen angesehen werden.

Bei der praktischen Durchführung wird die angeführte kritische Frequenz von einem Schwingquarz erzeugt und auf in eine Röhre eingeschlossenes Ammoniakgas übertragen.

Solange nun der Quarzkristall genau die kritische Frequenz erzeugt, wird alle gelieferte Energie zur Aufrechterhaltung des innermolekularen Schwingungsvorganges der Ammoniakmoleküle verbraucht und aus der Ammoniakröhre kann am anderen Ende derselben keine Energie mehr entnommen werden. Ändert sich jedoch die Frequenz, wird Energie als Funktion der Größe der Änderung frei. Sie wird nun dazu benutzt, um eine automatische Frequenznachstimmung zu erreichen, und zwar wird dann durch die der freigewordenen Energie proportionale Änderung einer auf den Kristall einwirkenden Kapazität die Frequenz des Schwingquarzes wieder auf die kritische, d. h. die Frequenz der innermolekularen Eigenschwingung, gebracht. Die letztere stellt jetzt das Frequenznormal dar.

Die bisher erreichte Genauigkeit beträgt ungefähr 0.004 sec./24 Stunden und ist damit vorläufig noch geringer als die der besten Quarzuhren. Man hofft aber in einigen Jahren nach diesem Prinzip ein absolutes Zeitmaß zu schaffen, das an Qualität dann die heutigen Quarzuhren übertreffen und auch kleinere Schwankungen der Rotationsgeschwindigkeit der Erde festzustellen gestattet wird.

Dem Vortrag, der in die modernsten Probleme der Zeitmessung einführte und von zahlreichen Lichtbildern begleitet war, gingen Nachrufe von Hofrat Prof. E. Doležal für den verstorbenen ersten Präsidenten des Bundesamtes Ing. A. Gromann und Hofrat Prof. F. Hopfer voraus. Die anschließende Diskussion brachte noch Anfragen über die künstliche Züchtung von Kristallen (wozu Frau Prof. Dr. Seidl von der Universität Wien kurz über eigene Arbeiten auf diesem Gebiet sprach) und über die Herstellung von Kristallplättchen für bestimmte Frequenzen.

Josef Mitter

## **Kleine Mitteilungen**

### **Ernennung des Hofrates Professor DDr. h. c. Eduard Doležal zum Ehrenbürger der Kurstadt Baden**

Am Sonntag den 5. März, drei Tage nach Vollendung seines 88. Lebensjahres, fand im Festsaal des Badener Rathauses die feierliche Überreichung der Ehrenbürgerurkunde an Hofrat Professor Doležal statt.

Im „Goldenen Buch der Stadt Baden“, das als Ehrenbürger ausschließlich Persönlichkeiten mit höchsten Verdiensten um die Allgemeinheit und das Ansehen der Stadt Baden, darunter den größten österreichischen Dichter Grillparzer, verzeichnet, wird nun eine neue Seite den Verdiensten des Hofrates Doležal gewidmet, der als Gelehrter in der internationalen wissenschaftlichen Fachwelt höchstes Ansehen genießt und den unerhörte geistige Schaffensfreude, bewunderungswürdige Gesundheit und ein edles, warmfühlendes Menschenherz auszeichnen.

Zu dieser festlichen Veranstaltung hatte die Stadt eine große Zahl von Persönlichkeiten und Freunden des Gelehrten in den festlich geschmückten Ratssaal geladen. Vizebürgermeister Dr. Hahn konnte in Vertretung des erkrankten Bürgermeisters begrüßen: den Rektor der Technischen Hochschule Se. Magnifizenz Dr. Karl Girkmann, die Professoren Dombaumeister Dr. h. c. Karl Holey und Dr. Hans Rohrer, den bisherigen Präsidenten des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen Dipl.-Ing. Karl Lego und den derzeitigen Präsidenten Dipl.-Ing. Leo Ulrich, den Generalsekretär des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines Dipl.-Ing. Fritz Willfort, den Vertreter der Österreichischen Gesellschaft für Photogrammetrie wrkl. Hofrat Ing. Karl Neumair, den Vertreter des Österreichischen Vereines für Vermessungswesen Oberrat d. V. Dr. Ing. Alois Barvir sowie die Verwandten und Freunde des Gefeierten.

Zu dieser Feier waren auch die gegenwärtigen Ehrenbürger Badens Altbürgermeister Dr. Trenner, Altbürgermeister und Minister a. D. Kollmann und Prälat Stoiber erschienen. Die Ehrenbürger Professor Müller und Professor Keldorfer hatten sich entschuldigen lassen.

Dem Festakte wohnte auch der vollzählige Gemeinderat bei.