

## Die Gangleistungen der PTR-Quarzuhren und die jährliche Schwankung der astronomischen Tageslänge.

Von

A. SCHEIBE und U. ADELSBERGER.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Mit 9 Figuren im Text.

(Eingegangen am 12. Dezember 1949.)

Die Quarzuhren der PTR wurden laufend in den Jahren 1934 bis 1944 gegen die astronomische Tageslänge gemessen. Es ergaben sich Schwankungen des täglichen Ganges mit *einer* Jahresperiode und mit einer Amplitude von  $\pm 0,0015$  sec/d. Die Meßergebnisse und ihre Diskussion lassen keine andere Deutung übrig, als daß die Ursache dieser Schwankungen bei dem astronomischen Zeitnormal, d. h. wahrscheinlich bei der Drehgeschwindigkeit der Erde zu suchen ist.

### I. Einleitung<sup>1</sup>.

Im Jahre 1936<sup>2</sup> veröffentlichten wir eine Arbeit, die sich mit dem Gangablauf der Quarzuhren I bis IV in den Jahren 1933 bis 1935 beschäftigte. Wir fanden systematische Änderungen des täglichen Ganges mit dem Jahresablauf, die nach unserem Untersuchungsmaterial höchstwahrscheinlich nicht auf schwankende Eigenschaften der Quarzuhren selbst, sondern auf eine Schwankung der astronomischen Tageslänge zurückzuführen waren.

Nach dieser Veröffentlichung beschäftigten wir uns (bis 1945) eingehend mit diesem Problem, um durch weitere experimentelle Unterlagen erhöhte Gewißheit zu bekommen, daß keinesfalls eine uns nicht bekannte Eigenschaft der Quarzuhren selbst diese Gangänderung bewirkt haben könnte. Zu diesem Zweck konstruierten wir die verbesserten Quarzuhren IV (neu) bis IX, die sich hinsichtlich ihres Aufbaues, ihrer Betriebsweise und ihrer Aufstellungsart wesentlich von den Quarzuhren I bis IV unterschieden:

1. Zur Erhöhung der Temperaturunabhängigkeit sind Oszillatorröhre, Gitterableitwiderstand und die zwischen Gitter und Kathode bzw. zwischen Gitter und Anode liegenden Schaltkapazitäten des Steuerenders mit in den inneren Thermostaten der Quarzuhr hineingenommen<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Dieser Bericht ist ein Auszug aus einer Monographie von A. SCHEIBE über die Gangleistungen und technischen Einrichtungen der PTR-Quarzuhren; hierüber wurde auf der Tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 23. 9. 49 in Bonn vorgetragen.

<sup>2</sup> Phys. Z. **37**, 185 (1936).

<sup>3</sup> Über die technischen Einrichtungen der Quarzuhren I bis IV s. Z. HF-Techn. u. Elektroak. **43**, 37 (1934).

2. Die inneren Thermostaten sind noch sorgfältiger als bei den Quarzuhren I bis IV zusammengesetzt; die äußeren dicken Aluminiumplatten des inneren Thermostatenkastens sind an ihren Stoßflächen feuchtigkeitsundurchlässig verfügt.

3. Die Anoden- und Heizfadenspannungen, mit denen die Oszillatorröhren der Steuersender betrieben wurden, sind gegenüber den bei I bis IV angewandten weitgehend erniedrigt. Je nach Quarzuhr lagen die Anodenspannungen zwischen 6 und 12 V, die Heizfadenspannungen zwischen 3 und 4 V, wobei als Steuerröhren die Typen RE 134 oder EF 12 (in Triodenschaltung) verwandt wurden.

4. Die Quarzuhren sind in Quarzuhrenkellern aufgestellt, deren Raumtemperatur bei 21° C innerhalb von 1° C konstant gehalten worden ist; die Quarzuhren sind also noch mit einem *dritten* Thermostaten umgeben.

5. Die Quarzuhren stehen auf schweren Betonklötzen, die ihrerseits wieder auf Schwingungsdämpfern installiert sind, um Erschütterungen, die über den Erdboden an die Uhren gelangen können, zu vermeiden.

Das seit 1936 angehäuften und sehr umfangreiche Beobachtungsmaterial konnte erst in den letzten beiden Jahren bearbeitet werden. Während die Quarzuhren verlorengingen und erste Durcharbeitungen des Untersuchungsmaterials in Verlust gerieten, blieben etwa 80% der Meßprotokolle erhalten. In den folgenden Ausführungen kann aus Raumgründen nur ein kurzer Auszug *des* Teiles der Ergebnisse mitgeteilt werden, der sich allein mit der Frage der Konstanz der astronomischen Tageslänge beschäftigt.

## II. Die astronomische Zeitskala.

Das astronomische Zeitmaß ist der mittlere Sonnentag. Da die PTR selbst keine Zeitbestimmungen gegen die den mittleren Sonnentag definierenden Zeitsterne ausführte, waren wir auf die Zeitangaben angewiesen, die von folgenden astronomischen Zeitinstituten mitgeteilt wurden: Deutsche Seewarte (Ha), Geodätisches Institut Potsdam (Po), Sternwarte von Paris (Pa), Observatorium von Greenwich (Gr).

Wir schlossen die Quarzuhren über das Koinzidenzsignal des Nauener Zeitzeichens um 12<sup>h</sup> 1<sup>m</sup> 0<sup>s</sup> Weltzeit an das astronomische Zeitmaß durch Standmessungen an. Nach Korrektur des Standes durch Anbringung einer mit Hilfe der vier genannten Zeitinstitute gebildeten „mittleren Verbesserung“ *Sm* besaß das Koinzidenzsignal für unsere Messungen den Grad einer astronomischen Zeitskala. Diese Skala würde mit dem astronomischen Zeitmaß übereinstimmen, wenn die „mittlere Verbesserung“ *Sm* absolut richtig und unser Anschlußverfahren fehlerfrei wäre. Dies ist jedoch von vornherein schon deshalb nicht der Fall,

da die zur Mittelbildung von  $S_m$  herangezogenen Verbesserungen „ $S$ “<sup>1</sup> der einzelnen Zeitinstitute sehr erheblich differieren können. Um zu wissen, mit welchem Fehler die „mittlere Verbesserung“  $S_m$  behaftet ist, stellten wir umfangreiche Betrachtungen und Vergleichsrechnungen an, die die „mittlere Verbesserung“  $S_m$  auf die „Verbesserungen“ *Heures Définitives* (HD) des Bureau International de l'Heure in Paris bezogen. Die Heures Définitives werden von diesem internationalen Büro aus den Zeitbestimmungen zahlreicher über die ganze Erde verteilter Zeitinstitute — einschließlich Ha, Po, Pa, Gr — gewonnen und stellen die „Verbesserungen“ des obengenannten Koinzidenzsignales nach einem aus allen Zeitinstituten gewonnenen Mittleren Observatorium dar. Indem wir erst einmal annahmen — was jedoch sicher nicht ganz zutreffend ist —, daß die „Verbesserungen“ HD *absolut* richtig sind, ermittelten wir für die Jahre 1934 bis 1940 einen mittleren Fehler  $s$  der „mittleren Verbesserung“  $S_m$  zu

$$s = \pm 0,008 \text{ sec};$$

das bedeutet, daß eine *Standbestimmung*  $U$  der Quarzuhren gegen das astronomische Zeitmaß nicht genauer als bis auf diesen Betrag durchgeführt werden kann. Hierbei ist unser eigener Meßfehler bei Durchführung der Standbestimmung gegenüber  $s$  als vernachlässigbar angesetzt.

### III. Die Genauigkeit der täglichen Gänge der PTR-Quarzhren.

Aus den Ständen  $U_{(n)}$  und  $U_{(n+1)}$  zweier um 86400 sec auseinanderliegender Quarzuhrenanschlüsse an das astronomische Zeitmaß ergibt sich der tägliche Gang  $G(p)$  unter Berücksichtigung der „mittleren Verbesserung“  $S_m$  zu:

$$G(p) = U_{(n+1)} - U_{(n)} + S m_{(n+1)} - S m_{(n)} \text{ sec/d} \dots \quad (1)$$

$G(p)$  bezeichnen wir als den gemessenen korrigierten *eintägigen täglichen Gang*; eintägig deshalb, weil zur Gangbestimmung nur zwei um *einen* Tag auseinanderliegende Stände  $U$  herangezogen worden sind. Da zur Gangbestimmung nach (1) der mittlere Fehler  $S_m$  zweimal eingeht, bekommen wir als mittleren Fehler des *eintägigen* Ganges  $G(p)$  den Wert

$$w = \pm s \cdot \sqrt{2} \quad \text{oder} \quad \approx \pm 0,012 \text{ sec/d} \dots, \quad (2)$$

wenn wir unseren eigenen fast zu vernachlässigenden Meßfehler mit in Rechnung setzen.

Wir können durch eine eintägige Messung den (täglichen) Gang  $G(p)$  also nicht genauer als auf 0,012 sec/d bestimmen. Dies Ergebnis ist

<sup>1</sup> Die „Verbesserungen“ des Nauener Koinzidenzsignales wurden von den Zeitinstituten als Korrekturen monatlich veröffentlicht.

höchst unerfreulich, besonders im Hinblick auf das Resultat, daß die *innere* Gangkonstanz einer Quarzuhr mit rund

$$\pm 0,0002 \text{ sec/d}$$

um fast 2 Zehnerpotenzen besser ist.

Wir finden einen Ausweg, wenn wir den Gang *nicht eintägig* messen, sondern als Mittel aus 30 Tagen bestimmen, da wir auf Grund der eben genannten hohen inneren Gangkonstanz der Quarzuhren wissen, daß die Quarzuhren auch innerhalb einer solchen Zeitspanne ihren Gang selbst im allgemeinen nicht wesentlich ändern. Als Gangfehler des 30tägigen Gangmittels ergibt sich dann:

$$m \approx \pm 0,0004 \text{ sec/d.}$$

Dies Resultat besagt, daß der mittlere Fehler einer Gangbestimmung erst bei einer 30tägigen Mittelung mit  $\pm 0,0004 \text{ sec/d}$  dem Fehler der inneren Gangkonstanz der Quarzuhren von rund  $\pm 0,0002 \text{ sec/d}$  adäquat wird. Wir werden uns in den folgenden Betrachtungen nur mit diesen Mittelwerten des Ganges  $G(30)$  beschäftigen.

Um nicht nur 12  $G(30)$ -Werte für 1 Jahr zu erhalten, haben wir mit überlappenden Mitteln gearbeitet, indem wir die Mittelbildung vom 1. zum 30., 10. zum 9. und 20. zum 19. aufeinanderfolgender Monate durchführten und so Werte für den 5., 15. und 25. eines jeden Monats erhielten.

#### IV. Die gemessenen Gänge der Quarzuhr.

An den Messungen waren beteiligt:

Quarzuhr III	vom 1. 6. 33 bis 13. 1. 41
Quarzuhr IV	vom 1. 1. 36 bis 30. 11. 40
Quarzuhr IV (neu)	vom 1. 4. 42 bis 16. 4. 45
Quarzuhr V	vom 1. 1. 37 bis 11. 8. 43
Quarzuhr VI	vom 1. 5. 38 bis 11. 8. 43
Quarzuhr VIII	vom 1. 1. 38 bis 11. 8. 43
Quarzuhr IX	vom 9. 9. 43 bis 16. 4. 45

In Fig. 1 ist der Verlauf der  $G(30)$ -Werte für 2 Epochen der Quarzuhr III dargestellt. Quarzuhr III hatte im Mai 1937 eine durch uns selbst verursachte nachhaltige Störung erlitten, so daß die beiden Kurven nicht aneinandergelegt werden können. In Fig. 2 sind die Gangwerte der Quarzuhren IV und IV (neu) eingezeichnet. Bei Quarzuhr IV ist im Mai 1939 eine Temperaturstörung aufgetreten, daher mußte auch bei dieser Uhr die Meßzeit in 2 Epochen zerlegt werden. Fig. 3 bringt das gleiche für Quarzuhr VI. Einen ähnlichen Verlauf zeigen auch die anderen Quarzuhren, doch soll auf Einzelheiten nicht näher eingegangen werden.

Eine erste Betrachtung der Gangkurven ergibt für alle Uhren und alle Jahre folgendes Gemeinsames:

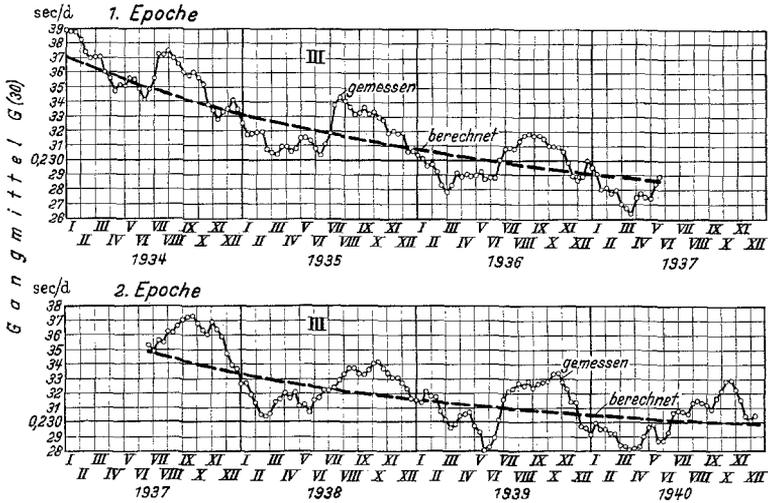


Fig. 1. Jahresverlauf der Gangmittel  $G(30)$  für die Quarzuhr III.

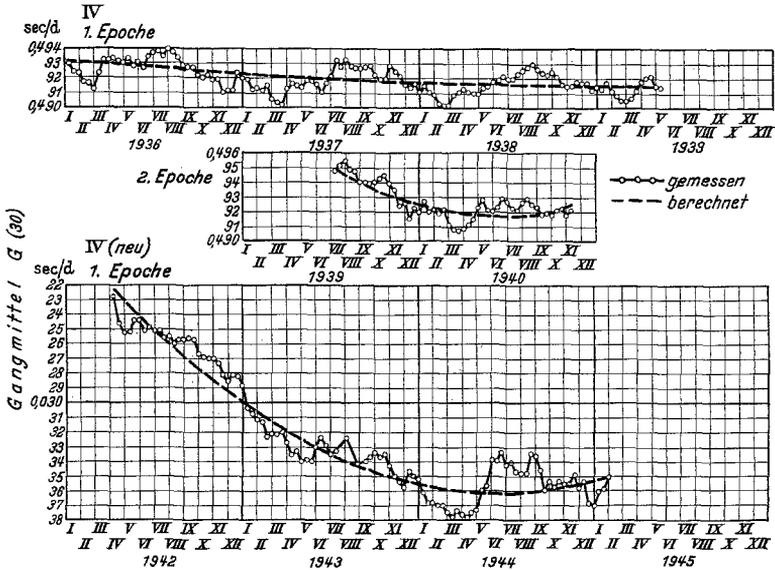


Fig. 2. Jahresverlauf der Gangmittel  $G(30)$  für die Quarzuhr IV und IV (neu).

A) Der Gangwert ist am Ende einer Epoche gegenüber dem Anfangswert geändert, und zwar ist er bei den Quarzuhren III bis VII und IX stets kleiner als der Anfangswert, dagegen bei Quarzuhr VIII nach der ersten Epoche größer, nach der zweiten Epoche kleiner.

B) Der Änderung nach A) ist ein regelmäßiges Auf- und Abwärts-  
gleiten der Gangwerte überlagert, das sich in deutlichen Höchst- und  
Kleinstwerten ausprägt.

Die Gangkurven lassen weiter erkennen, daß die Änderung des  
täglichen Ganges nach A) bei jeder Uhr einen etwas verschiedenen

Ablauf hat. Daraus muß  
man schließen, daß dies  
eine Eigenschaft der Quarz-  
uhr selbst ist. Wir nen-  
nen diese Erscheinung *den*  
*allgemeinen Gangablauf*,  
oder auch die „Alterung“  
der Quarzuhr.

Durch eine Ausgleichs-  
rechnung<sup>1</sup> lassen sich  
Funktionen finden, die die-  
sen allgemeinen Gangab-  
lauf gut darstellen. Wir

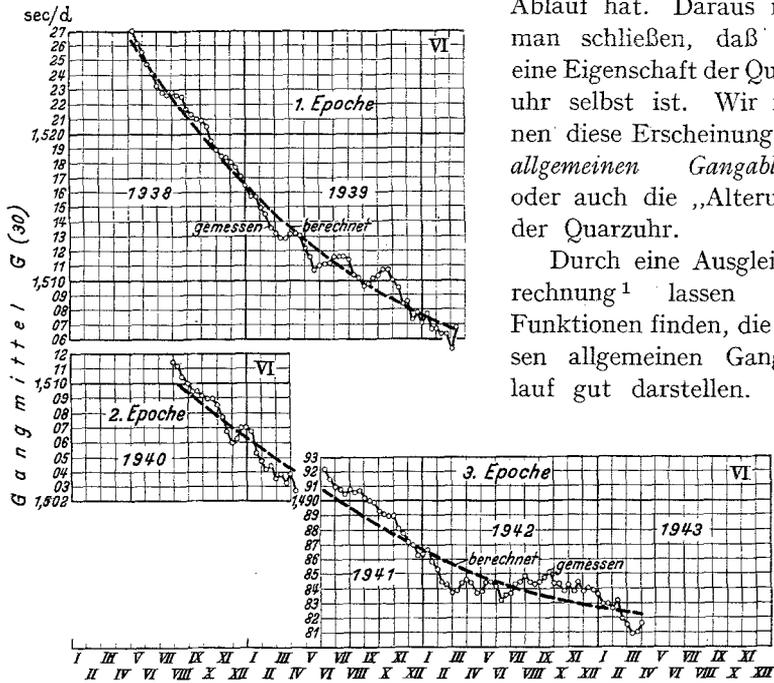


Fig. 3. Jahresverlauf der Gangmittel G(30) für die Quarzuhr VI.

bekommen für die einzelnen Uhren und ihre Epochen folgende Aus-  
gleichsfunktionen:

Tabelle 1. Funktionen des allgemeinen Gangverlaufes.

Quarzuhr III.

1. Epoche 5. 1. 34 bis 25. 5. 37  
 $g(\text{ber}) = 0,2198 + 22,12/(t + 1268,936) \text{ sec/d}$  (1)

2. Epoche 15. 6. 37 bis 25. 12. 40  
 $g(\text{ber}) = 0,2264 + 7,57/(t + 881,5) \text{ sec/d}$  (2)

Quarzuhr IV.

1. Epoche 5. 1. 36 bis 15. 5. 39  
 $g(\text{ber}) = 0,4931 - 0,0000\ 0253 \cdot t + 0,0000\ 0000\ 12 \cdot t^2 \text{ sec/d}$  (3)

2. Epoche 5. 7. 39 bis 25. 11. 40  
 $g(\text{ber}) = 0,4951 - 0,0000\ 1972 \cdot t + 0,0000\ 0002\ 884 \cdot t^2 \text{ sec/d}$  (4)

<sup>1</sup> Herr Dr. БӨНМЕ — jetzt Astronom, Recheninstitut Heidelberg — hat sich  
dieser Aufgabe unterzogen; wir sind ihm zu bestem Dank verpflichtet.

*Quarzuhr IV (neu).*

$$1. \text{ Epoche } 5. 4. 42 \text{ bis } 15. 3. 45 \\ g(\text{ber}) = -0,0218 - 0,0000\ 3492 \cdot t + 0,0000\ 0002\ 144 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (5)$$

*Quarzuhr V.*

$$1. \text{ Epoche } 5. 5. 37 \text{ bis } 5. 2. 39 \\ g(\text{ber}) = 1,1815 - 0,0000\ 7724 \cdot t + 0,0000\ 00042\ 34 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (6)$$

$$2. \text{ Epoche } 25. 3. 39 \text{ bis } 5. 4. 40 \\ g(\text{ber}) = 1,1477 - 0,0000\ 1727 \cdot t - 0,0000\ 0005\ 766 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (7)$$

$$3. \text{ Epoche } 5. 6. 40 \text{ bis } 5. 1. 43 \\ g(\text{ber}) = 1,1160 - 0,0000\ 4330 \cdot t + 0,0000\ 0001\ 501 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (8)$$

$$4. \text{ Epoche } 1. 3. 42 \text{ bis } 11. 8. 43 \\ g(\text{ber}) = 1,1221 - 0,0000\ 1864 \cdot t + 0,0000\ 0001\ 604 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (9)$$

*Quarzuhr VI.*

$$1. \text{ Epoche } 1. 5. 38 \text{ bis } 20. 3. 40 \\ g(\text{ber}) = 1,5266 - 0,0000\ 4767 \cdot t + 0,0000\ 0002\ 688 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (10)$$

$$2. \text{ Epoche } 5. 8. 40 \text{ bis } 20. 4. 41 \\ g(\text{ber}) = 1,5102 - 0,0000\ 2804 \cdot t + 0,0000\ 0001\ 501 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (11)$$

$$3. \text{ Epoche } 5. 6. 41 \text{ bis } 15. 7. 43 \\ g(\text{ber}) = 1,4909 - 0,0000\ 2345 \cdot t + 0,0000\ 0001\ 604 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (12)$$

*Quarzuhr VIII.*

$$1. \text{ Epoche } 5. 7. 38 \text{ bis } 15. 11. 40 \\ g(\text{ber}) = 0,4711 + 0,0000\ 0257 \cdot t + 0,0000\ 0000\ 316 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (13)$$

$$2. \text{ Epoche } 5. 10. 41 \text{ bis } 25. 3. 42 \\ g(\text{ber}) = -0,1118 - 0,0000\ 7329 \cdot t + 0,0000\ 0017\ 5 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (14)$$

$$3. \text{ Epoche } 5. 4. 42 \text{ bis } 15. 7. 43 \\ g(\text{ber}) = -0,1185 - 0,0000\ 0780 \cdot t - 0,0000\ 0001\ 529 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (15)$$

*Quarzuhr IX.*

$$1. \text{ Epoche } 5. 11. 43 \text{ bis } 5. 4. 45 \\ g(\text{ber}) = -1,8781 - 0,0000\ 3875t - 0,0000\ 0000\ 7738 \cdot t^2 \text{ sec/d} \quad (16)$$

$t$  = Anzahl der Tage;

$t = 0$  am ersten Tag der betreffenden Epoche.

Diese Ausgleichung ist nach rein mathematischen Gesichtspunkten ausgeführt; sie entspricht nicht immer der physikalischen Wirklichkeit und besonders dann nicht, wenn die Epoche, über die ausgeglichen worden ist, kleiner als 1 Jahr ist. Dies trifft z. B. für die zweite und dritte Epoche von Uhr VIII zu. (Wir haben sie in der vorstehenden Aufzählung jedoch nicht korrigiert.)

In den Fig. 1—3 ist der Verlauf der Ausgleichsfunktionen gestrichelt eingezeichnet. Mit Ausnahme der Quarzuhr III, bei der der allgemeine Gangverlauf sehr schön durch eine Hyperbel dargestellt wird, läßt er sich bei den anderen allgemein durch Gleichungen zweiten Grades wiedergeben. Der Versuch, einem Vorschlag von UHINK (Geodätisches Institut Potsdam) entsprechend, den allgemeinen Gangverlauf durch eine logarithmische Ausgleichung den physikalischen

Gegebenheiten einer elastischen Alterung des Steuerquarzes besser anzupassen, führte zu einer weniger genauen Ausgleichsfunktion.

Aus den errechneten Ausgleichsfunktionen erhalten wir die in Tabelle 2 folgenden Akzelerationen (–) oder Retardationen (+):

Tabelle 2. *Akzeleration und Retardation.**Quarzuhr III.*

$$1. \text{ Epoche } dg/dt = - 1,375 \cdot 10^{-5} / (1 + t/1269)^2 \text{ sec/d}^2 \quad (1)$$

$$2. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,972 \cdot 10^{-5} / (1 + t/882)^2 \text{ sec/d}^2 \quad (2)$$

*Quarzuhr IV.*

$$1. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 0253 + 0,0000\ 0000\ 24 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (3)$$

$$2. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 1972 + 0,0000\ 0005\ 768 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (4)$$

*Quarzuhr IV (neu).*

$$1. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 3492 + 0,0000\ 0004\ 288 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (5)$$

*Quarzuhr V.*

$$1. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 7724 + 0,0000\ 0008\ 468 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (6)$$

$$3. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 4330 + 0,0000\ 0003\ 002 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (7)$$

$$4. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 1864 + 0,0000\ 0003\ 208 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (8)$$

*Quarzuhr VI.*

$$1. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 4767 + 0,0000\ 0005\ 376 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (9)$$

$$2. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 2804 + 0,0000\ 0003\ 002 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (10)$$

$$3. \text{ Epoche } dg/dt = - 0,0000\ 2345 + 0,0000\ 0003\ 208 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (11)$$

*Quarzuhr VIII.*

$$1. \text{ Epoche } dg/dt = 0,0000\ 0257 + 0,0000\ 0000\ 632 \cdot t \text{ sec/d}^2 \quad (12)$$

*V. Die jährliche Periode der Gangdifferenzen  $GD = G(30) - g$  (ber).*

Die in Tabelle 1 mitgeteilten Funktionen gestatten für jede Uhr und für jede Epoche die Berechnung der Gänge  $g$  (ber); diese würden sich ergeben, wenn nichts außer der „Alterung“ den Gangwert der Uhren affiziert hätte. Bilden wir die Differenz der gemessenen Werte  $G(30) - g$  (ber), dann haben wir explizit die Gangbeeinflussung nach B). Diese Differenzen  $GD$  wurden für sämtliche Uhren berechnet. Ein sehr kleiner Teil dieses Ergebnisses wird als Beispiel in Fig. 4 und 5 graphisch mitgeteilt. Fig. 4 enthält die  $GD$ -Werte für eine Quarzuhr (III) in sämtlichen Jahren, Fig. 5 enthält die  $GD$ -Werte sämtlicher Quarzuhren für ein Jahr. In ähnlicher Weise verlaufen auch die Figuren für die anderen Uhren und für die anderen Jahre.

Ohne näher auf die Einzelheiten der Figuren einzugehen, stellen wir fest, daß das Ergebnis unserer ersten Veröffentlichung, wonach alle PTR-Quarzuhren in den Jahren 1934 und 1935 eine systematische Gangschwankung anzeigten, auch in den nachfolgenden Jahren bis 1944

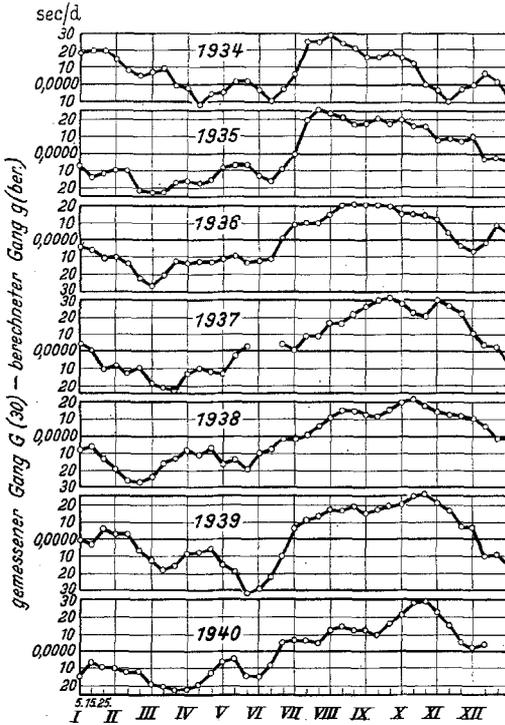


Fig. 4. Differenz zwischen gemessenen und berechneten Gang der Quarzuhr III in den Jahren 1934 bis 1940.

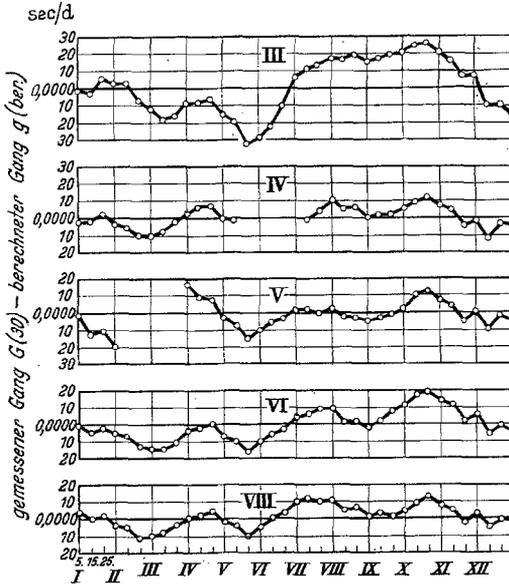


Fig. 5. Gangdifferenz der Quarzuhren III bis VIII im Jahre 1939.

bestätigt wird. Die Gangdifferenz  $(30) - g$  (ber) durchläuft im ersten Halbjahr ein Minimum und im zweiten Halbjahr ein Maximum. Die Differenz zwischen Minimum und Maximum beträgt je nach Jahr:

Bei Uhr III  
etwa 0,0040 bis 0,0055 sec/d,  
bei Uhr IV  
etwa 0,0020 bis 0,0035 sec/d,  
bei Uhr IV (neu)  
etwa 0,0030 bis 0,0050 sec/d,  
bei Uhr V  
etwa 0,0025 bis 0,0035 sec/d,  
bei Uhr VI  
etwa 0,0025 bis 0,0035 sec/d,  
bei Uhr VIII  
etwa 0,0020 bis 0,0030 sec/d,  
bei Uhr VII 0,0040 sec/d,  
bei Uhr IX 0,0065 sec/d.

#### VI. Die mittlere Epochen-Quarzuhr und die Mittlere Quarzuhr.

Unterschiede in den Angaben der Quarzuhren im gleichen Beobachtungsjahr sind zum Teil auf Schwankungen der Quarzuhren gegeneinander — bedingt durch Akzelerationsänderungen —, zum Teil auf eine gewisse Freiheit in der Ermittlung der Ausgleichsfunktion des allgemeinen Gangverlaufes und auch auf Störungen im Quarzuhrenbetrieb zurückzuführen. Um derartige Zufälligkeiten in ihrer Wirkung

zu schwächen, bildeten wir deshalb für jedes Jahr zur Unterdrückung dieser individuellen Eigenschaften aus allen Quarzuhren des betreffenden Jahres eine *mittlere Jahres-Quarzuhr*. Hierdurch entstand, wie zu erwarten, eine größere Gleichmäßigkeit im Verlauf der Gangdifferenzen  $G(30) - g(\text{ber})$ , wie z. B. Fig. 6 (untere Kurve vorläufig angenommen), zeigt.

Zufällige Schwankungen und Eigenheiten des Jahresablaufes fallen noch stärker heraus, wenn man nun weiterhin die Mittelbildung über eine Reihe von Jahren ausdehnt. Auf diese Weise gewannen wir durch Unterteilung des gesamten Beobachtungszeitraumes in die Epochen 1934 bis 1937, 1938 bis 1941 und 1942 bis 1944 die *mittleren Epochen-Quarzuhren*.

Fig. 7 zeigt in den oberen 3 Kurven den Verlauf dieser 3 Epochen, von denen der Verlauf der Epoche 1938 bis 1941 jedoch auch in Fig. 6 als *unterste* Kurve zum Vergleich mit den Jahresuhren gezeichnet ist. Wir sehen eine überraschende Übereinstimmung aller 3 Kurven, sowohl der Phase, als auch der Amplitude nach. Diese Übereinstimmung erschien uns

als ein Beweis dafür, daß die Periode der Gangdifferenz  $GD$  in jedem Jahr im Mittel ungefähr gleich verlaufen wird und wir hielten uns für

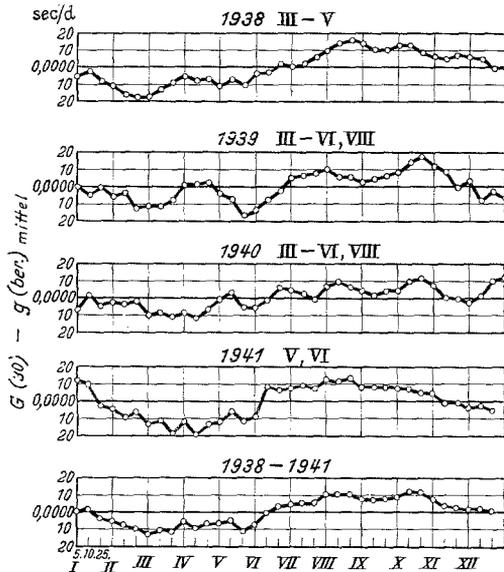


Fig. 6. Gangdifferenz der mittleren Jahres-Quarzuhr.

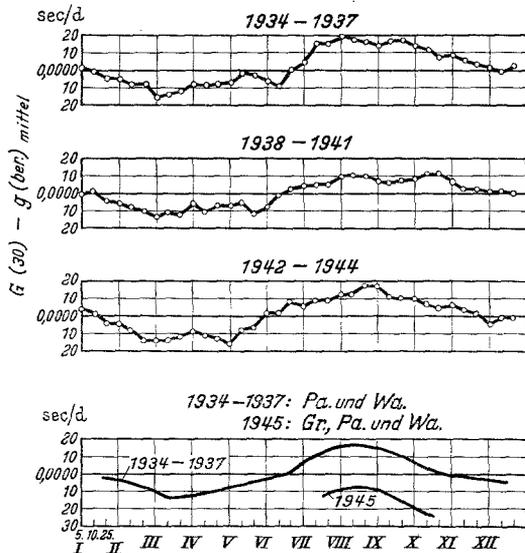


Fig. 7. Gangdifferenz der mittleren Epochen-Quarzuhr.

berechtigt, die 3 Epochenuhren ihrerseits wieder zu einer *Mittleren Quarzuhr* über die gesamte Zeit von 1934 bis 1944 zu vereinigen.

Wir haben den Verlauf der Gangdifferenz  $G(30) - g(\text{ber})$  der *Mittleren Quarzuhr* (entsprechend dem Verlauf der Schwankung der Drehgeschwindigkeit der Erde) in Fig. 8 eingetragen. Bezeichnen wir die mittlere Drehgeschwindigkeit der Erde an einem beliebigen Erdpunkt mit  $v_0$  und ihre Momentangeschwindigkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt mit  $v$ , so ergibt sich

$$G(30) - g(\text{ber}) = k \cdot \frac{v - v_0}{v_0} = k \cdot \frac{\Delta v}{v_0}, \quad (1)$$

worin  $k = 86400 \frac{\text{sec}}{\text{dies}}$  bedeutet; setzen wir  $k$  ein, dann erhalten wir

$$\frac{\Delta v}{v_0} = \frac{G(30) - g(\text{ber})}{86400 \text{ sec} \cdot \text{d}^{-1}}. \quad (2)$$

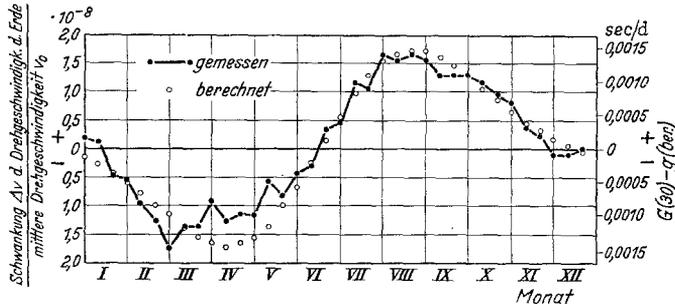


Fig. 8. Relative Schwankung  $\Delta v/v_0$  der Drehgeschwindigkeit der Erde.

Die Fig. 8 enthält daher als Ordinatenbezeichnung: links die Werte für  $\Delta v/v_0$  in  $10^{-8}$ -Einheiten und rechts die Werte für die Gangdifferenz in  $\text{sec/d}$ . Wir besprechen vorerst den *Gangverlauf* und nachfolgend in Absatz VIII den *Geschwindigkeitsverlauf*.

Die große Gleichmäßigkeit im Verlauf der mittleren Gänge der Epochenuhren spricht dafür, daß hier eine Ursache wirkt, die mit jährlicher Regelmäßigkeit die Gänge der Quarzuhren beeinflusst. Wie wir es bei unserer ersten Veröffentlichung über diese Erscheinung getan haben, diskutieren wir auch diesmal wieder eingehend die Frage, ob nicht eine jahreszeitlich bedingte Einwirkung auf die Quarzuhren selbst die Ursache dieser Gangperiode sein könnte. Wir haben jedoch auch diesmal nichts feststellen können, was dafür spricht, daß diese Gangperiode bei den Uhren selbst gesucht werden muß. Diese Feststellungen wurden dadurch erleichtert, daß wir durch die Aufstellung der Quarzuhren IV (neu) bis IX in wohltemperierten Quarzuhrenkellern einen jahreszeitlich bedingten Temperatureinfluß von vornherein ausschalteten. Es blieb die Frage nach einem Einfluß der

relativen Feuchtigkeit übrig, den wir jedoch verneinen konnten, da die neuen Quarzhren durch sorgfältigstes Verfugen der betreffenden Bauteile mit fast wasserundurchlässigem innerem Thermostaten gebaut waren. Eine schwierig durchzuführende Messung zeigte außerdem, daß ein Feuchtigkeitseinfluß eine der aufgefundenen Phase der Periode entgegengesetzte Wirkung haben müßte. Wir kommen daher wiederum zu dem Schluß, daß nach den bisherigen Ergebnissen die Ursache der Gangänderung nicht bei den Quarzhren, sondern bei dem astronomischen Zeitmaß zu suchen ist.

#### *VII. Eine Bestätigung der PTR-Messungen.*

Eine Bestätigung unserer Messungen erbrachte 1948 N. STOYKO vom Bureau International de l'Heure in Paris. Er veröffentlichte für die Epoche 1934 bis 1937 — und deshalb haben wir die gleiche Epoche in unserer Zeiteinteilung gewählt —, Messungen über die Gänge der Uhren des Observatoriums zu Paris und des Observatoriums zu Washington, die in ihrem Endergebnis unseren Messungen vollkommen gleichen. Wir haben die betreffende Kurve von N. STOYKO im Maßstab unserer Zeichnungen als unterste Kurve in Fig. 7 eingetragen. Es kann nicht bestritten werden, daß diese Kurve nicht nur in ihrer Amplitude und Phase, sondern auch in der Feinstruktur völlig mit der zugehörigen Kurve unserer *Epochen-Quarzhren* 1934 bis 1937 übereinstimmt. N. STOYKO zeigte weiterhin, daß sich der gleiche Verlauf der Gänge, bzw. der Schwankung der Erdrotation nach Messungen der gleichen Observatorien und zusätzlich des Observatoriums von Greenwich auch in der zweiten Hälfte des Jahres 1945 ergibt.

Wir nehmen diese Mitteilungen aus dem Bureau International de l'Heure als eine Bestätigung unserer Ansicht, daß die Änderungen der Gänge der Quarzhren eine Angelegenheit der Änderung der astronomischen Tageslänge ist. Man kann daran denken, daß in erster Linie für die Änderung der astronomischen Tageslänge eine Änderung der Drehgeschwindigkeit der Erde verantwortlich ist.

#### *VIII. Die Periode der jährlichen Änderung der Drehgeschwindigkeit der Erde.*

Nach Gl. (1) S. 426 ist die relative Geschwindigkeitsschwankung der Rotation der Erde der absoluten Gangschwankung der Quarzhren vorzeichengleich. Nach Kurve Fig. 8 ist die Amplitude nicht sehr groß. Sie übersteigt gangmäßig gesehen nicht den Betrag von  $\pm 0,0015$  sec/d und geschwindigkeitsmäßig gesehen nicht den Betrag von  $\pm 1,7 \cdot 10^{-8}$  des Wertes der mittleren Drehgeschwindigkeit.

Die Kurve ist etwas verzerrt. Eine angenäherte Ausgleichung ergibt:

$$(G(30) - g(\text{ber})) = -0,0013 \cdot \sin \frac{2\pi}{365}(t + 15) - 0,0004 \cdot \sin \frac{2\pi}{182,5} \cdot (t + 195) \quad (1)$$

$$\frac{\Delta v}{v_0} = -1,5 \cdot 10^{-8} \cdot \sin \frac{2\pi}{365}(t + 15) - 4,6 \cdot 10^{-9} \cdot \sin \frac{2\pi}{182,5} \cdot (t + 195) \quad (2)$$

$t = 0$  ist der 5. Januar. Diese Funktionen gehen am 21. Juni und 21. Dezember, also zum Sommer- und Wintersolstitium durch 0.

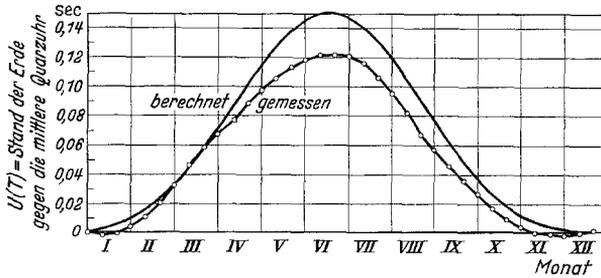


Fig. 9. Stand der Erde gegenüber der Mittleren Quarzuhr.

Da wir nun behaupten, daß die Gangänderung nicht bei der Quarzuhr, sondern bei der Erde liegt, errechnet sich für die Erde ein Gang  $G(T)$  durch Multiplikation der rechten Seite der obengenannten Gangfunktion (1) mit  $-1$ . Durch Integration der berechneten Gangfunktion der Erde läßt sich dann wiederum ein Stand der Erde gegenüber der Mittleren Quarzuhr berechnen, dessen Verlauf als Kurve ohne Punkte in Fig. 9 eingezeichnet ist, während er sich experimentell nach der gemessenen Gangkurve unter Beachtung der Bedingung, daß der Stand der Erde am Anfang und am Ende des Jahres gegenüber der Quarzuhr  $= 0$  sein soll, entsprechend der Kurve mit Kreispunkten verhält.

Wir sehen also, daß die Erde im Sommer gegenüber der mittleren Quarzuhr bis zu 0,12 sec nachgeht.

Es ist uns eine angenehme Pflicht, unseren langjährigen Mitarbeitern, Herrn Stud.-Ref. HERRMANN für die Durchführung zahlreicher Messungen und für die Überwachung der Quarzuhren und Herrn Ob.-Insp. NEY für die konstruktive und vorzügliche mechanische Ausführung der Quarzuhren an dieser Stelle unseren besten Dank abzustatten.