

A. Scheibe und U. Adelsberger Physiker und Uhrenbauer aus Deutschland

Vor gut 200 Jahren entstanden die Grundlagen der heutigen wissenschaftlich-technischen Welt. Die Gesetze der Energie und Entropie wurden erkannt, die Lehre vom Elektromagnetismus geschaffen und die > atomare Vorstellung <

> der Materie zur Grundlage von Chemie und Physik gemacht

Auf diesen → beiden Wissenschaften basiert die hochentwickelte Technik des 20. Jahrhunderts, die chemische und pharmazeutische Industrie ebenso wie die Elektrotechnik, die Energiewirtschaft und das Transportwesen

Mehr als → dringend mussten → einheitliche Maße, auch für die modernsten Produktionsverfahren → gefunden und → durchgesetzt werden !!!

**Jedes deutsche Ländchen hat sein eigenes Quentchen,
... eigene Maße hat fast jede deutsche Stadt !!!**

Nach einer über 15jährigen Vorgeschichte mit Werner v. Siemens als wesentlichem Organisator und finanziellem Förderer, wurden mit der Zustimmung von Bismarck

> am 28. März 1887 durch den Reichstag die erforderlichen Mittel genehmigt

und damit die Gründung der → Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ermöglicht

**... der wachsenden Bedeutung der Naturwissenschaften für
Wirtschaft und Industrie Rechnung zu tragen ...**

**Die neue Reichsbehörde war ein nationales Institut >> für die experimentelle <<
Förderung der exakten Naturforschung und Präzisionstechnik**

**Wissenschaftler konnten → frei von Lehrverpflichtungen und → unabhängig von
industriellen Auftraggebern auf dem Gebiet der → Metrologie forschen.**

Metrologie [griechisch] >>> Die Wissenschaft von den Maßen und Gewichten

Auf dem von Werner v. Siemens geschenkten Grundstück in Bln-Charlottenburg wurde die PTR errichtet, sein erster Präsident war der bekannte Wissenschaftler

> Hermann von Helmholtz - auch genannt "Reichskanzler der Wissenschaft"

Physikalische Abteilung

Laboratorien für Wärme, Elektrizität, Optik

Technische Abteilung

Laboratorien für Feinmechanik, Wärme und Druck

Elektrizität, Optik

Erste gesetzliche Aufgaben mit dem Reichsgesetz

Nr. 26: Betreffend die elektrischen Maßeinheiten

vom 01. Juni 1898



Ab 1923 für alle gesetzlichen Einheiten verantwortlich einschl. der Oberaufsicht über Eich- und Prüfmäster.

Nach Kriegsende 1945 waren die Berliner Einrichtungen der PTR zerstört, viele Laboratorien bereits vorher in verschiedene Orte des Reichsgebiets ausgelagert

**Ab 1947 Zusammenführung der in den → Westzonen verstreuten Abteilungen in Braunschweig und 1950 als Physikalisch-Technische Bundesanstalt und als
> nationales Metrologieinstitut der Bundesrepublik Deutschland
die Tätigkeit aufgenommen. 1953 wurde das Institut Berlin (West) angegliedert**

**Fortschritt und Zuverlässigkeit in der Messtechnik sind die Leitlinien der PTB
>>> Metrologie die Kernkompetenz <<<**

Tätigkeitsbereiche (der heute ca. 1.500 Mitarbeiter) in den 4 Arbeitsgebieten:

- > Grundlagen der Metrologie (Grundlagenforschung)**
- > Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich (Verbraucherschutz)**
- > Messtechnik für die Industrie (Qualitätssicherung)**
- > Internationale Zusammenarbeit (weltweite Vereinheitlichung)**

Das heutige Fachlaboratorium > Zeiteinheit < gehört zur Abteilung 4 → Optik

Die Einrichtung der PTR folgte aus der grundsätzl. Erkenntnis, dass das nationale Messwesen ein unverzichtbarer Teil der vom → Staat zu >> gewährleistenden <<

> Infrastruktur in einer Industrienation ist !!!

Dies wurde sehr schnell auch von anderen Staaten erkannt und es zogen nach:

**> 1900 England mit dem
National Physical Laboratory
in Teddington, Middlesex**



**> 1901 Amerika mit dem
National Bureau of Standards,
jetzt National Institute of Standards and Technology
in Boulder, Colorado**



Beide Institute sind heute, wie auch die PTB >> Lieferanten für die Atomzeit <<

Aus der grossen Zahl hervorragender Mitarbeiter und Gäste der PTR und PTB hier die Auswahl einiger historischer Persönlichkeiten:

> **Walther Bothe (1891-1957)**

**Nachweis der Existenz der Lichtquanten / Entdecker des Kern-Photo-Effekt
Nobelpreis für Physik 1954**

> **Albert Einstein (1879-1955)**

**Vater der Relativitätstheorie / Pionier der Quantentheorie
Nobelpreis für Physik 1921**

> **Max von Laue (1879-1960)**

**Assistent von Max Planck / Nachweis atomistische Struktur der Festkörper
Nobelpreis für Physik 1914**

> **Walter Nernst (1864-1941)**

**Vater der physikalischen Chemie / Entdecker 3. Hauptsatz der Wärmelehre
Nobelpreis für Chemie 1921**

> **Willy Wien (1864-1928)**

**Begründung des Strahlungsgesetzes → führte unmittelbar zur Quantentheorie
Nobelpreis für Physik 1911**

Das für den Mensch natürliche Zeitmaß ist der durch die Erdrotation definierte Tag

> Die wahre Sonnenzeit (mit der Sonnenuhr gemessen)

Der wahre Sonnentag hat wegen der Schiefe der Ekliptik und der Ellipsenform der Erdbahn eine → ungleichmässige Dauer

Dem Drehwinkel der Erde proportional und daher eher → gleichförmig ist deshalb

> Die mittlere Sonnenzeit (mit der Räderuhr gemessen) deren Zeitmaß

Der mittlere Sonnentag ist: → 24 Stunden zu je → 60 Minuten zu je → 60 Sekunden

Die Festlegung der Dauer der Sekunde als den 86.400ten Teil des mittleren Sonnentages war im Grunde willkürlich; eine → formale Definition dieser Sekunde als ein

> verbindliches Zeitmaß hat es jedoch bis → 1956 nicht gegeben

Die auf den Nullmeridian bezogene > mittlere < Sonnenzeit wurde ab 1919 als die

> Weltzeit UT (Universal Time) bezeichnet, ursprünglich

galt die heute noch sehr → populäre Bezeichnung GMT (Greenwich Mean Time)

Aus dem Vergleich der Erdrotation mit den → Umläufen von Planeten und des Mondes wurde bereits von den frühen Astronomen erkannt, dass sich die

> Dauer des mittleren Sonnentages → fortlaufend ändert

und man vermutete eine kontinuierliche Abbremsung durch Gezeitenreibung

Die Erde wird immer mehr >> verlangsamt und benötigt für eine Umdrehung immer mehr Zeit:

Extrem langsam → pro 1.000 Jahre → ca. 5,3 sec

Vor ~ 370 Mio Jahren hatte 1 Jahr rund 400 Tage → die Tage wesentlich kürzer

Über längere Zeiträume summiert sich dieser Effekt zu → erheblichen Zeiten !!

Seit ca.1935 sind diese Phänomene wissenschaftlich gesicherte Tatsachen, etwa zur gleichen Zeit gelang es → Scheibe und → Adelsberger an der PTR mit Hilfe ihrer Quarzuhren der Nachweis, dass es auch

> jahreszeitliche Rotationsschwankungen der Erde gibt !!!

Damit unsere Zeitrechnung im Einklang mit den von der Natur gegebenen Jahreszeiten bleibt, bestimmte man das sog. tropische Jahr zum > Jahreszeitmaß < und > unterteilte es in $\rightarrow 365,242198\dots$ Teile, den \rightarrow mittleren Sonnentag

Die mittlere Sekunde, die Grundeinheit der Zeit, ist der $86.400 \times 365,242198\dots$ ste Teil des tropischen Jahres und könnte direkt auf das Jahr selbst bezogen werden.

Nach dem Stand der damaligen Uhrentechnik war die \rightarrow unmittelbare Abnahme eines Zeitmaßes vom tropischen Jahr / wahren Sonnentag nicht zu verwirklichen

Nur der in \rightarrow fester Beziehung zum mittleren Sonnentag stehende > Sterntag < eignet sich für Zwecke der korrekten Zeitmessung !!!

Der \rightarrow Sterntag ist der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen eines Fixsterns, der mit dem mittleren Sonnentag um einen \rightarrow festen Betrag differiert: $1 \text{ Sterntag} = 86.164,0905\dots \text{ Sekunden}$

Mit dieser Umrechnungszahl gewinnt man somit \gg die Grundeinheit der Zeit \ll
Der durch \rightarrow Sternbeobachtungen ermittelte mittlere Sonnentag wird als die > astronomische Tageslänge < bezeichnet

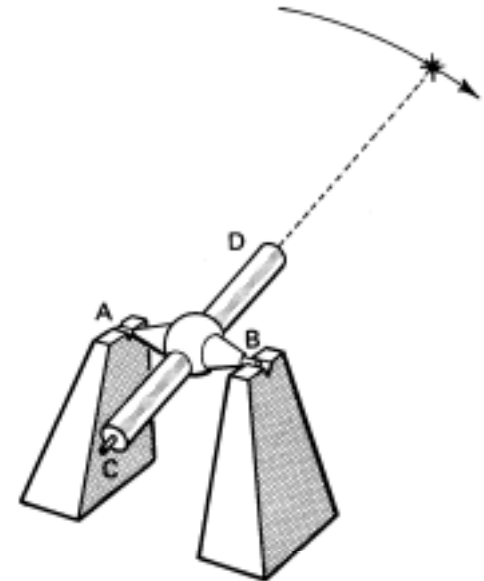
**Hauptaufgabe der experimentellen Astronomie war von jeher die astronomische Tageslänge auf Uhren zu übertragen und das astronomische Zeitmaß über einen
> möglichst langen Zeitraum → aufzubewahren !!!**

Die besonders dafür eingerichteten Zeitinstitute in Deutschland um 1930 waren:

- > Deutsche Seewarte Hamburg
- > Geodätisches Institut Potsdam

**Als Fixpunkte am Himmel dienen die “Zeitsterne“
Fixsterne deren Position ständig → überwacht und
genau bekannt und in astr. Jahrbücher verzeichnet**

**Zur Standmarkierung der zu messenden Uhr dient
ein → Passageinstrument - ein > Fernrohr < dessen
optische Achse genau ausgerichtet und fixiert ist:
A / B nach Ost / West und C / D nach Nord / Süd**



**Der Augenblick, in dem der Fixstern einen vertikal gespannten Faden im Gerät
passiert, stellt einen → Zeitpunkt des > astronomischen Zeitmaßes < dar**

Bereits im Jahre 1928 > vermutete < die wissenschaftliche Astronomie, dass das Jahreszeitmaß → unregelmäßigen Schwankungen unterworfen ist.

Die Umlaufbeobachtungen von Mond, Merkur und Jupitermonden zeigten alle einen → gleichen sich zeitlich veränderten Kurvenverlauf. Es ist unwahrscheinlich, dass → alle beobachteten Objekte in der > gleichen < Weise gestört werden

Es bestand kein Zweifel, dass auch eine unverkennbare → Schwankungsperiode >> von 250 Jahren vorlag <<

Der deutsche Wissenschaftler B. Meyermann > deutete < diesen Sachverhalt so, dass die → feste Erdrinde, vom Erdkern durch eine zähflüssige Zwischenschicht getrennt, infolge der Flutreibung gegen den Kern → zurückbleibt und zwar in

> 250 Jahren um eine → ganze Umdrehung !!!

Meyermann sah aber keine direkte > meßtechnische < Möglichkeit zur Lösung des Problems bzw. des Beweises seiner Vermutung und schlägt deshalb einen aufwendigen astronomischen → Umweg vor, nämlich die > Einführung < eines

>> kosmischen Zeitmaßes <<

Die in den Sternwarten arbeitenden astronom. Präzisionssekundenpendeluhren später nur noch PPU genannt, waren üblicherweise → Sternzeit reguliert sowie mit > Regulatorzifferblatt und > 24h - Anzeige ausgestattet

Folgende Hersteller dominierten weltweit die Observatorien:

- > Strasser & Rhode, Glashütte
- > Riefler, Nesselwang
- > Schuler, Göttingen
- > Shortt, England

Zur Unterdrückung der Ablesefehler wurde der Koinzidenzvorgang auf einen Schnellschreiber übertragen $v = 300 \text{ mm/s}$
Darüberhinaus im allgemeinen > 10 Zeitsterne < beobachtet

Das ergab um 1935 einen mittleren Fehler der Zeitbestimmung

>> von +/- 0,002 sec <<

Damit war der → Höhepunkt der mechanischen Großuhr in Bezug auf Präzision und Zuverlässigkeit erreicht. Systembedingt waren → weitere Verbesserungen nicht mehr zu erreichen, obwohl von → Wissenschaft und Technik gefordert !!!



Um 1900 wurde in den wichtigsten deutschen Seehäfen die genaue Zeit mittels Zeitball verbreitet. In Bremen stand der genaueste, von der Sternwarte in Berlin

> von einer Strasser & Rhode PPU fernausgelöst: 12:00:00 +/- 0,1 sec

Allmählich wurden die Zeitbälle (Kanonen) durch Radio-Zeitsignale verdrängt:

- > 1905 wurden in den USA die ersten Funk-Zeitzeichen gesendet**
- > 1907 dann versuchsweise in Deutschland von Norddeich-Radio**
- > 1911 von einem Funksender am Eiffelturm in Paris**
- > 1912 Norddeich-Radio sendet jetzt regelmäßig Zeitzeichen**

**Etwa 1911 festgestellt, dass die europäischen Zeitzeichensender → zum Teil um
> mehrere Sekunden voneinander abwichen !!!**

**Am 12.10.1912 trafen sich in Paris die Direktoren von 16 Observatorien um die
> Einrichtung einer → internationalen Zeitkommission zu beschließen**

Vertreter Deutschlands war kein geringerer als Prof. Wilh. Foerster aus Berlin

Ab 01.01.1920 hat dann das → Bureau International de l'Heure (BIH) in Paris die

> Verbreitung von GMT als Universalzeit sichergestellt <

Das Klima Mitteleuropas gestattet → keine kontinuierliche Zeitbestimmung - im Spätherbst vergehen oft mehr als 2 Wochen bis ein wolkenloser Himmel wieder eine astronomische Zeitbestimmung zuläßt !!!

In der Zwischenzeit sind die Zeitinstitute darauf → angewiesen, Zeitangaben aus den Uhren abzuleiten. Von deren Güte und der → vorher ermittelten Gangformel

> ergibt sich eine mehr oder weniger > unsichere < Zeitextrapolation

Hauptzeitzeichensender für das Deutsche Reich war die Station Nauen, gespeist über Kabel von der Seewarte Hamburg, die → 2x täglich neben dem Hauptsignal

> ein Koinzidenzsignal (Zeitnoniusmaßstab mit 1/61-Teilung) ausstrahlte

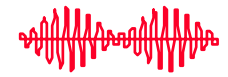
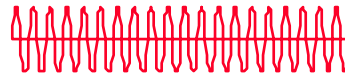
Die im allg. mit einem > Zeitzeichenfehler < behafteten Signale werden von den Zeitinstituten wieder aufgenommen und gegen die eigene Zeitskala verglichen !!!

> Festgestellte Zeitzeichenfehler werden bestimmt und veröffentlicht

Meist jedoch mit mehrmonatiger Verzögerung → da erst eine Verifizierung durch Sternbeobachtung erfolgen muß !!!

Die Entwicklung des Rundfunks sorgte in den 20er Jahren für einen ungeheuren Aufschwung der Hochfrequenztechnik und → beschleunigte die Anforderungen

> an exakte Frequenzmessungen



Frequenz und Zeit sind eng miteinander verknüpft: $\gg f = 1 / t \ll$ dass heisst, ein → genaues Frequenznormal ist auch ein → genaues Zeitnormal

Die bahnbrechende Entdeckung der piezoelektrischen Leuchterscheinungen von von E. Giebe und A. Scheibe von der PTR führte in der Folge zur Entwicklung

> von Leuchtresonatoren → piezoelektrisch angeregte Quarze, die die

Grundlage zur Ablösung der “ungenauen“ Pendeluhren wurden. > Zahlreiche < Schwierigkeiten der PPU zur Gleichmäßigkeit des Ganges wurden überwunden:

- > Temperaturdrift
- > Pendellänge
- > Luftdruck
- > Erschütterungen

- > Einschwingdauer
- > Amplitude
- > Erdschwere
- > Luftfeuchte etc. etc.

Quarz ist ein in zahlreichen Gesteinsarten vorkommendes (trigonales) Mineral. Die reinste Art ist der → Bergkristall (ein Halbedelstein, farblos und wasserhell)

> ansonsten in vielen Abarten: Quarzit, Sandstein, Quarzsand ...

Chemisch gesehen ist Quarz → SiO_2 >> Siliziumdioxid <<

Der piezoelektrische Effekt wurde → erstmalig 1880 von J. & P. Curie an einem Turmalin beobachtet und → wie so oft, hat diese Entdeckung erst → viel später an Bedeutung gewonnen !!!

Der direkte Piezoeffekt

Er besagt, dass ein piezoelektrischer Kristall bei Druck oder Zug in bestimmter Achsenrichtung elektrische Ladungen erzeugt

Der reziproke Piezoeffekt

Er besagt, dass ein piezoelektrischer Kristall in einem elektrischen Feld Längenänderungen in bestimmten Achsenrichtungen erfährt

> 1922 veröffentlichte der Amerikaner W. G. Cady seine grundl. Untersuchungen über die Anwendung von → Quarzstäben als piezoelektrische Oszillatoren in der HF-Technik: Stäbe in bestimmter Weise aus dem Quarzkristall herausgeschnitten

> erfahren im hochfrequenten Wechselfeld → elastische Längsschwingungen

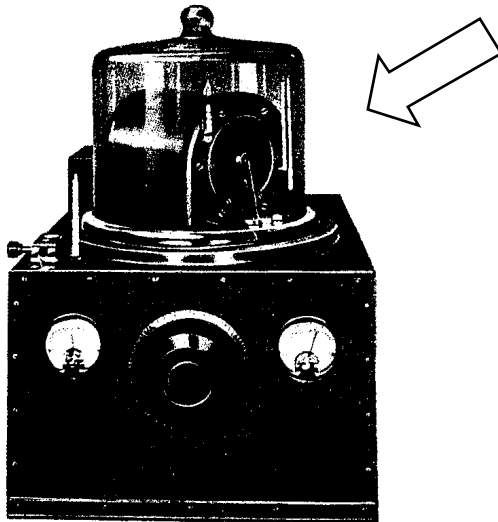
Die Amplitude ist am größten bei Resonanz zwischen > erregender < elektrischer Frequenz und > elastischer < Eigenfrequenz

> 1927 wiesen E. Giebe und A. Scheibe nach, dass Quarzstäbe nicht nur zu Längsschwingungen sondern auch zu Biegungs- und Drillungsschwingungen angeregt werden können !!!

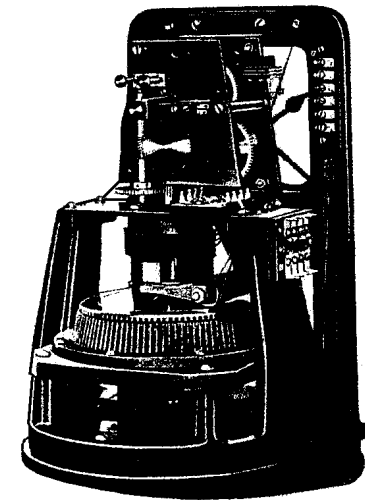
> 1929 baute W. A. Marrison die erste Quarzuhr, die berühmte "Crystal - Clock" Quarzring (!) als Steuerquarz / Frequenz 100 kHz. Die Uhr (→ mit Zeiger) zeigte vorzügliche kurzzeitige Resultate → über längere Zeiträume den PPU unterlegen

> 1930 begannen Adolf Scheibe und sein Mitarbeiter Udo Adelsberger mit dem Bau der PTR-Quarzuhren, beschränkt jedoch gänzlich andere → technische Wege als die amerikanischen Forscher !!!

Quarzring



Thermostat und Schaltkreise



Synchronmotor und Anzeige

Nach längerem Probetrieb wurde Ende Jan. 1932 die "Quarzuhr I" der PTR in Dauerbetrieb genommen - eine → baugleiche "Quarzuhr II" folgte Ende Februar

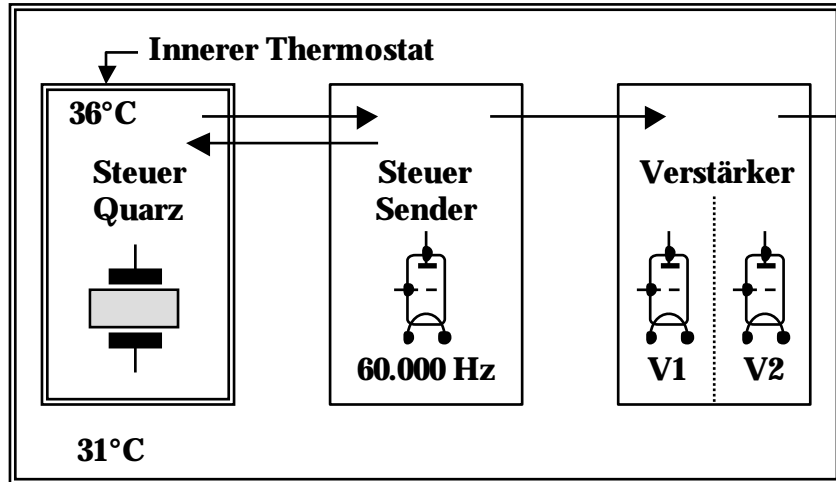
Der technische Aufbau der beiden Quarzuhren (→ ohne Zeiger) bestand aus:

- > Steuerquarz → identisch zum 60 kHz Leuchtresonator
- > Doppelthermostat → innerer und äußerer Thermostat
- > Steuersender → 60 kHz Quarzgenerator
- > Zweistufiger Verstärker → 60 kHz Röhrenverstärker
- > Dreistuf. Frequenzteiler → induktiv rückgekoppelte Röhrensender
- > Synchronmotor → Drehzahl 5 U.p.S, Betätigung Zeitkontakt
- > Zeitgeber → Steuerung Drehspul-Schnellschreiber

Vom äußeren Aufbau her benötigte eine Uhr die Stellfläche von → zwei Tischen

Beide Uhren stehen in einem nach Norden liegenden Arbeitszimmer im 2. Stock des Starkstromgebäudes → keine Sondermaßnahmen gegen Erschütterungen !!!

Doppelthermostat



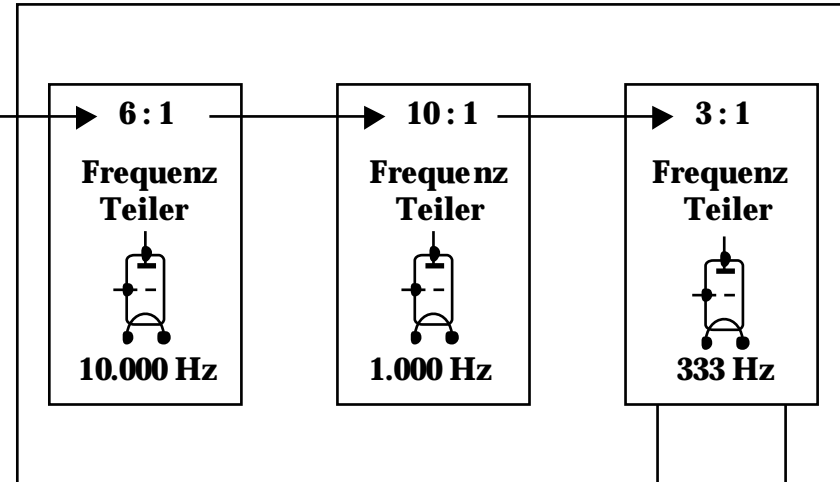
Äußerer Thermostat

Batteriegepufferte Stromversorgung:

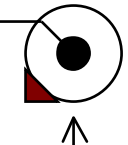
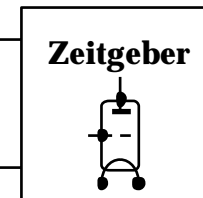
- > Kontrollinstrumente
- > Regulierwiderstände
- > Gleichrichter
- > Drosselketten

Energiebedarf: ~ 3 kWh / Tag

Frequenzteilerapparatur



Schnellschreiber



Synchronmotor

Die Bestimmung des tägl. Ganges von QI wurde tägl. mit einer relativen Meßgenauigkeit von 0,001 bis 0,002 sec durch Uhrenstandsbestimmung gegen das

> Nauener Koinzidenzzeitzeichen vorgenommen

Die PTR selbst führte keine eigenen Sternbeobachtungen durch. Wie erwähnt,

> ist das Zeitzeichen jedoch > fehlerhaft < bis zu einem Betrag von 0,15 sec !!

Von den folgenden Zeitinstituten werden die Zeitzeichenfehler veröffentlicht:

> Deutsche Seewarte Hamburg

> Sternwarte in Greenwich

> Geodätisches Institut Potsdam

> Sternwarte in Paris (BIH)

Scheibe und Adelsberger bildeten aus den Signalen der vier Institute eine sog.

> mittlere astronomische Zeitkorrektur <

gewannen daraus für eine 24 Stunden - Beobachtung einen korrigierten Gang und konnten einen mittleren täglichen Gang für eine Beobachtungsdauer von

> 30 Tagen auf +/- 0,001 bis +/- 0,002 sec absolut ansetzen

Damit erfolgte der Anschluß der Quarzuhr an die astronom. Zeitbeobachtung

Die in der Zeit vom 27.01. bis 22.07.1932 in → 5 Etappen durchgeführten Uhrenstandsbestimmungen von QI ergaben nach Anbringung der mittleren astronom. Zeitkorrektur folgende Gangwerte:

Etappe	Datum	Tage	MtG	DgE	
ZI 1	27.01. - 03.03.	36	- 3,924	0,000	} i.M. - 3,924
ZI 2	03.03. - 05.04.	33	- 3,924	0,000	
ZI 3	05.04. - 12.05.	37	- 3,928	0,000	} i.M. - 3,928
ZI 4	12.05. - 16.06.	35	- 3,930	- 0,002	
ZI 5	16.06. - 22.07.	36	- 3,927	+ 0,001	

MtG: Mittlerer täglicher Gang in sec / DgE: Differenzen gegen Einzelmittel in sec

Es ergibt sich der mittlere tägliche Gang der QI innerhalb einer Beobachtungszeit von fast 6 Monaten auf:

$$\underline{\underline{+/- 0,002 \text{ sec d.h. auf } +/- 2 \times 10^{-8}}}$$

Nach der "Einlaufzeit" von QII wurden im Juli die Differenzen der momentanen täglichen Gänge der Quarzuhren ermittelt und dabei folgendes Ergebnis erzielt:

- > mittlere tägliche Differenz QI - QII von 0,0013 sec
- > mittlere Schwankung der Einzelwerte von +/- 0,0003 sec

Wie von den Erbauern erwartet, lieferten die beiden Uhren QI und auch QII beste

> Ergebnisse → und das auch über längere Zeiträume !!!

Trotzdem war man noch lange nicht zufrieden und arbeitete mit → Hochdruck an der Eliminierung der bei Bau, Erprobung und dem → Dauerbetrieb aufgedeckten Schwachpunkte der Uhrengruppe I / II

Große Sorge machte den Forschern der Temperaturkoeffizient der Steuerquarze !! Um einen stabilen Gang der Uhren zu gewährleisten, verlangten die Quarze eine

> über Wochen und Monate mittlere Temperaturkonstanz von $0,002^{\circ}\text{C}$

Dies war eine echte Herausforderung, da die → Umgebungstemp. im Uhrenraum, trotz Zusatzheizung im Winter, über das Jahr zwischen 12° und 28°C schwankte !

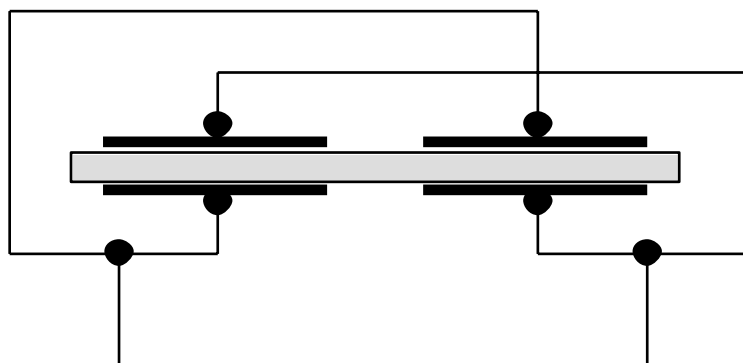
Da der innere Thermostat konstruktiv (bis auf die Lage des Kontaktthermometers) kaum mehr zu verbessern war, mußte schwerpunktmäßig nach einer verbesserten

> Quarzkonfiguration gesucht werden

Im Juni 1933 gingen die in vielen Details verbesserten Quarzuhren "III" und "IV" in Betrieb. Ganz > wesentlich < aber unterscheiden sich die Steuerquarze, u.a. in
> ihrer größeren Masse (29 : 1) und kleinerem Temperaturkoeffizient (~100 : 1)

Steuerquarze I / II

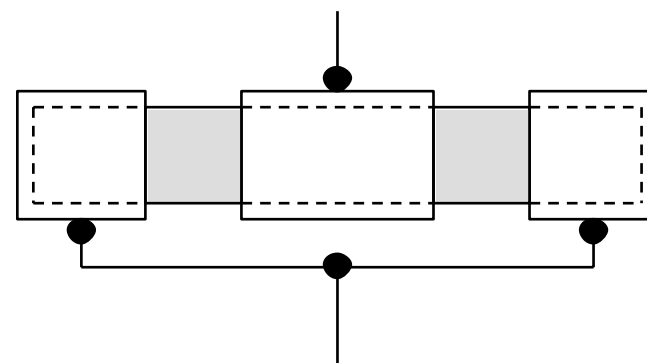
Quarzstab rechtwinklig 91 x 1,5 x 3 mm
4 diagonale Anregungselektroden



Temperaturkoeffizient $-4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Steuerquarze III / IV

Quarzstab quadr. 91 x 11,4 x 11,4 mm
3 kastenförmige Anregungselektroden



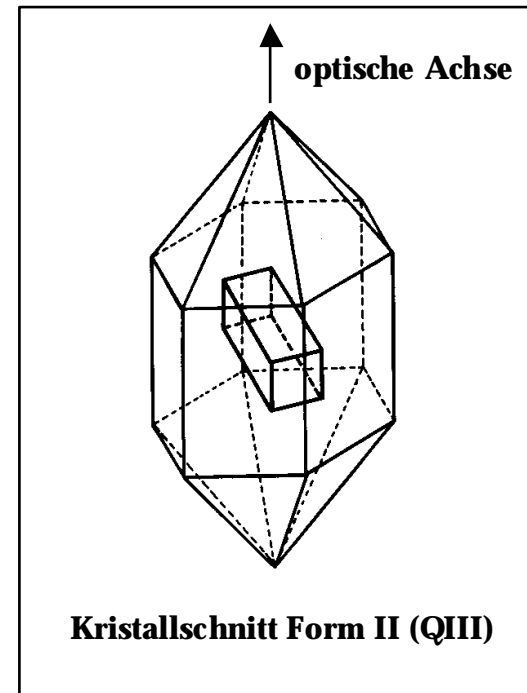
Temperaturkoeffizient $5 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$

Die Quarze sind aus einem Bergkristall herausgeschnitten und in einem Glasrohr das → hochevakuiert ist, eingeschlossen !!!

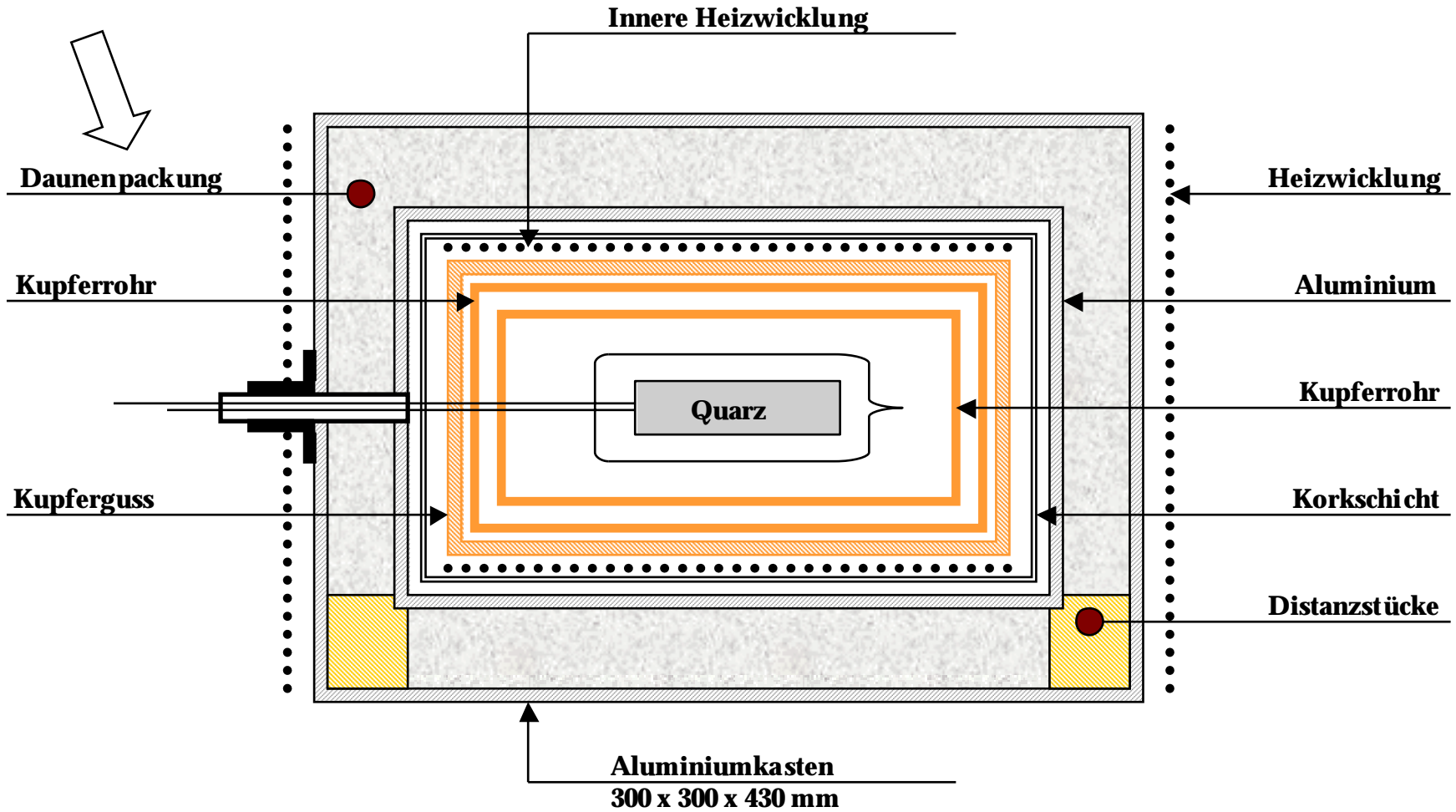
Die Rohlinge der Bergkristalle wurden direkt aus Brasilien bezogen und von einer Berliner Spezialfirma (unter strengster Kontrolle) zugeschnitten !!!

Dann optische und elektrische Voruntersuchung als Leuchtresonator: Durch Störungen im Leuchtbild sind eventuelle → Unregelmäßigkeiten im > Kristallgefüge erkennbar < damit eine optimale Vorauswahl sichergestellt !!

- > Schleifen und Kanten brechen**
- > Oberfläche auf Hochglanz polieren**
- > Tempern bei 500°C (die Abkühlphase dauerte einige Wochen)**
- > Einschmelzen in Vakuumgefäß (Glaskolben)**



Erst nach → längerer Einlaufperiode (Alterung) als → Uhrenquarze verwendbar !!



Zwischen jeder gutleitenden Hülle ist eine wärmeisolierende Luftschicht

Der Steuersender und die Verstärker besitzen für den Aufbau der Schaltelemente je eine 5 mm starke Aluminiumgrundplatte und eine würfelförmige Alu - Haube

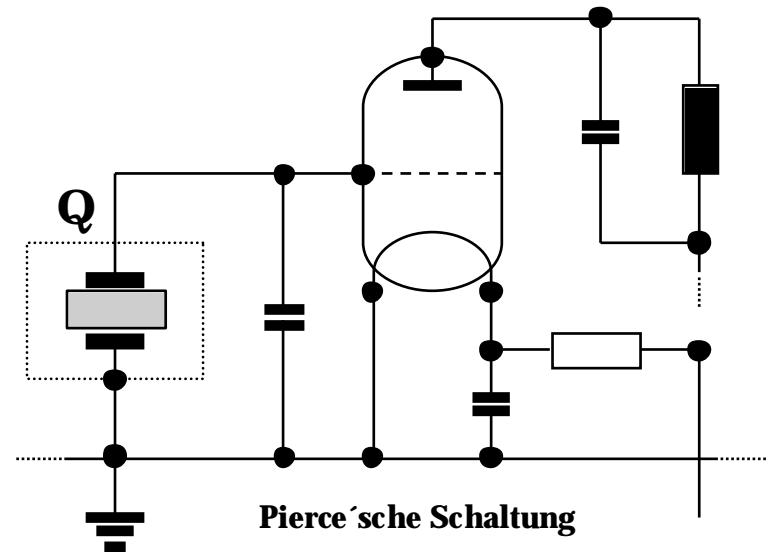
Der Steuersender → arbeitet in einer Schaltung nach > Pierce < ohne zusätzlichen Gitterableitwiderstand

**Die Senderöhre (RE 134) besitzt eine
> Heizspannung von 3,2 V
> Anodenspannung von 43 V**

Diese sehr günstigen Werte ergeben geringe Schwankungen und lange Lebensdauer (3 Jahre ohne Wechsel)

**Die → ungedämpften 60 kHz Schwingungen werden in dem 2-stufigen Verstärker
> V1 = Widerstandsverstärker (RE 034) > V2 = Resonanzverstärker (RE 134)
soweit verstärkt, dass kein Energieentzug den Oszillator (... damit die Uhr) stört !**

Im Anodenkreis von V2 liegt der auf 60 kHz → abgestimmte Ausgangskreis der über eine Koppelspule den Frequenzteiler synchronisiert



Die 3 Frequenzteilerstufen bestehen im Prinzip aus → induktiv rückgekoppelten Röhrensendern → den Anodenkreis auf die Teilung mittels LC-Glied abgestimmt

Es wird schaltungstechnisch erreicht, dass jeder der 3 Sender nur dann einwandfrei schwingt, wenn seine Frequenz ein → ganzzahliger Teil des höherfrequenten Senders ist. Das “Intrittarbeiten“ der 3 Stufen kann während des → Betriebes mit

> einem Telefon “abgehört“ werden !!!

**Verwendete Röhren RE 114 / RE 134 > Heizspg. 3,3 / 3,7 V > Anodenspg. 100 V
Zusätzliche Übertragerspulen dienen zur Abnahme der Normalfrequenzen für
> Frequenzmeßzwecke und Gangbestimmung der Uhr <**

Der Wechselstrom von 333 Hz treibt über eine Koppelspule den Synchronmotor:

- > Stator: Hartgummi D = 130 mm, H = 30 mm, 30 U-förmige Eisenlamellen**
- > Rotor: Eisenstab (hohl) D = 80 mm, 60 Polzähne, Quecksilberfüllung**
- > Rotorachse mit Spitzenlagerung (Saphir) wegen sehr starker Beanspruchung**

**Kontaktgabe an den Zeitgeber alle 4,5 sec durch Schneckenrad untersetzt (50 : 1)
Der Motor steht auf einer → Wandkonsole unter einer → Schutzkappe aus Glas !**

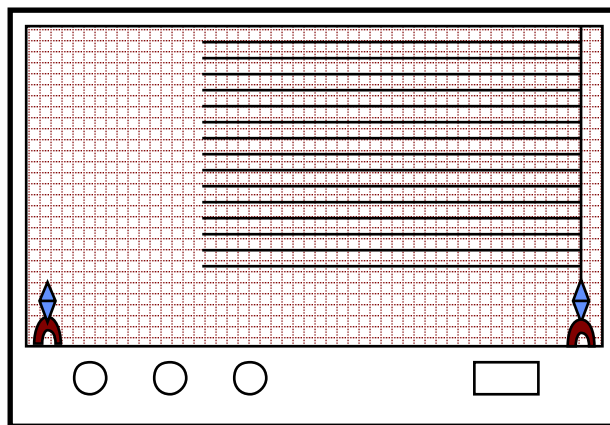
Der Zeitgeber besteht aus einer Verstärkerröhre (RE 134) die bei Entblockung ihres Gitters durch den Kontakt des Synchronmotors eine starke Kondensatorentladung

> in die Schreibspule eines Drehspul-Schnellschreibers schickt, damit

erhält man auf dem Papierstreifen des Schreibers eine scharfe und steil ansteigende Zeitmarke, da die Schreibnadel \rightarrow fast rechtwinklig aus der Ruhelage bewegt wird.

Der Papiervorschub beträgt (genau geregelte) 100 mm / sec \rightarrow somit ist es möglich

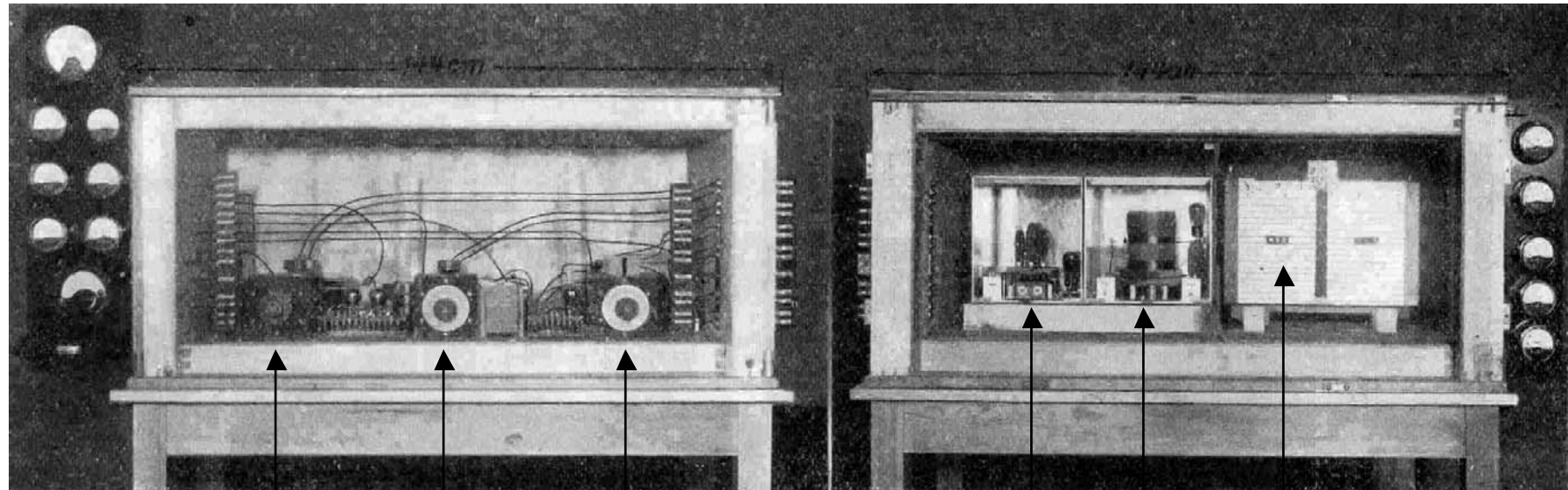
> eine Zeitmarke von 1/10 mm entsprechend > 1/1000 sec < auszumessen !!!



Die Zeitmarken dienen auch zum Anschluss an das > Nauener Zeitzeichen < das drahtlos empfangen, über eine Apparatur (ähnlich dem Zeitgeber) \rightarrow gleichzeitig > aufgezeichnet wird <

Die Frequenzteilerbaustufe

Die Oszillatorbaustufe



3 : 1 FT

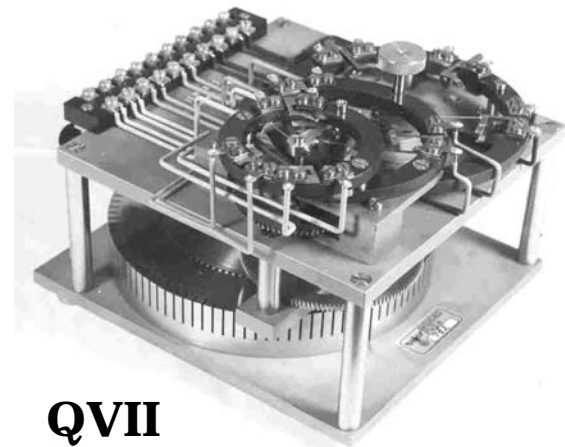
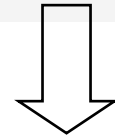
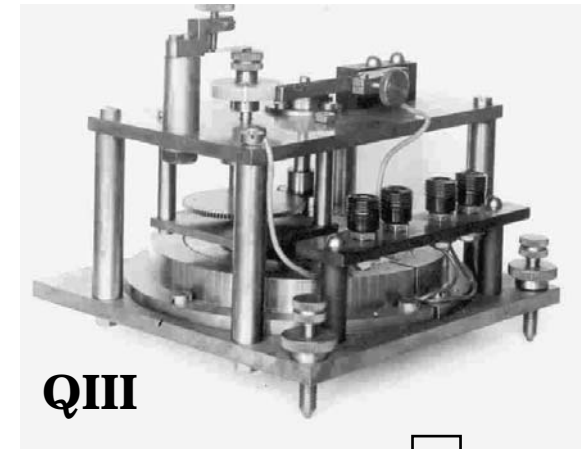
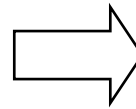
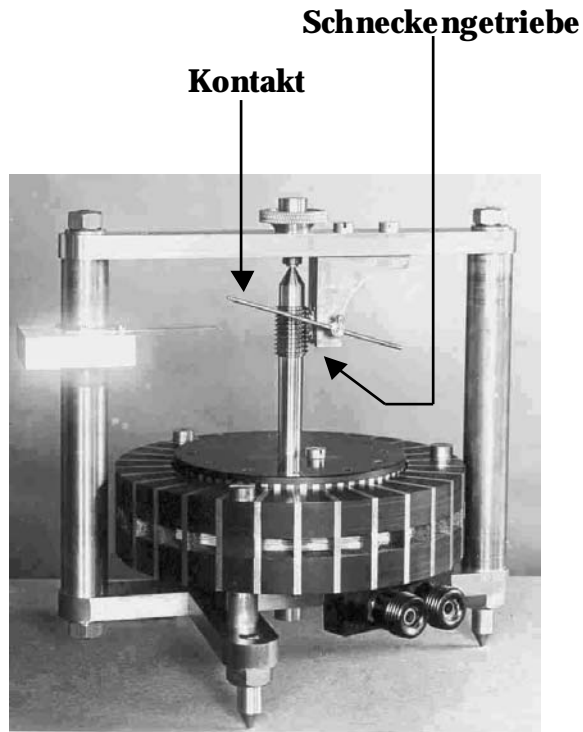
10 : 1 FT

6 : 1 FT

Verstärker

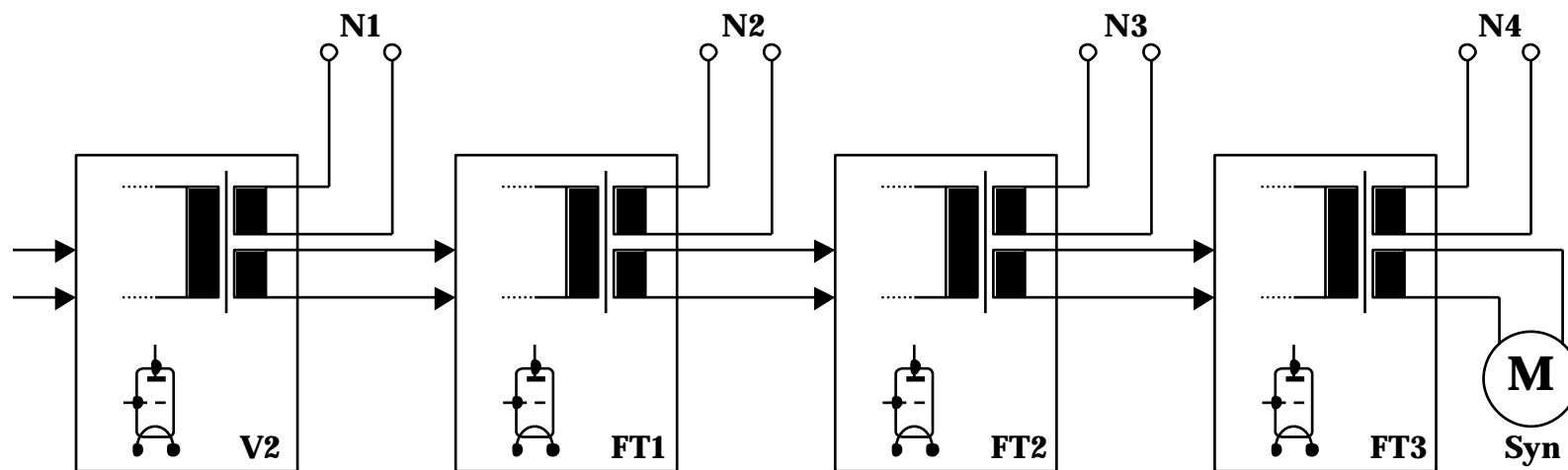
Steuersender

Innerer Thermostat



**Synchronmotor von QI
Leihgabe vom
Wechselstromlaboratorium**

Eine Quarzuhr ist über die Frequenzteilerstufen als > Frequenznormal < und über den Synchronmotor als > Zeitmaß < anzusehen !!!



N1 > Abnahme der Normalfrequenz > 60 kHz

N2 > Abnahme der Normalfrequenz > 10 kHz

N3 > Abnahme der Normalfrequenz > 1 kHz

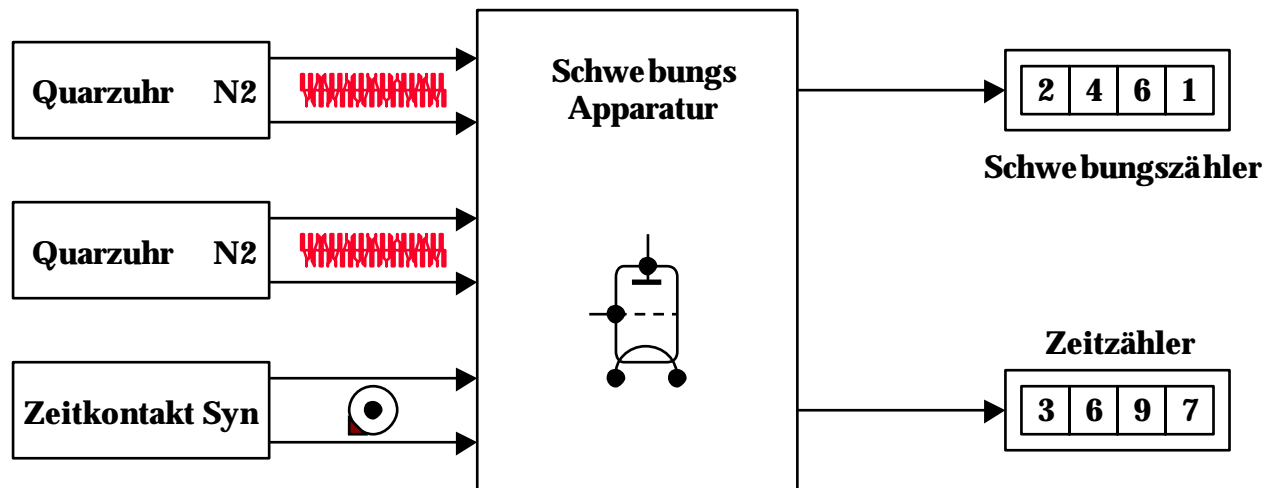
N4 > Abnahme der Normalfrequenz > 333 Hz

N1 ... N4 auch benutzt zur Übertragung der Frequenz an eine > Schwebeapparatur

Der Absolutanschluß der Quarzuhr als Zeitmaß an die astronomische Zeit erfolgt über den Zeitkontakt des Synchronmotors. Aus der → Schwankung des Intervalls

> zwischen 2 Zeitkontakten berechnet sich die Schwankung des tägl. Ganges

Der Vergleich von Quarzuhren untereinander wird zweckmäßigerweise über die Wechselströme der Frequenzteiler vorgenommen !!!



Bei diesem Vergleich (Messung der Frequenzdiff.) sind in → sehr kurzer Meßzeit sehr → präzise Frequenzänderungen nachzuweisen und einfach zu → berechnen wieviel sich der tägl. Gang einer dieser Uhren in den nächsten 24h ändern wird !!

Nach Inbetriebnahme der Uhrengruppe III / IV verfügte die PTR ab Herbst 1933 über ausreichend stabile Quarzuhren um die Aufgabe als > Lieferant der Zeit < übernehmen zu können.

Neben der Deutschen Seewarte belieferte die QIII mehrere Großfirmen sowie das > Reichspostzentralamt in Berlin mit Normalfrequenzen

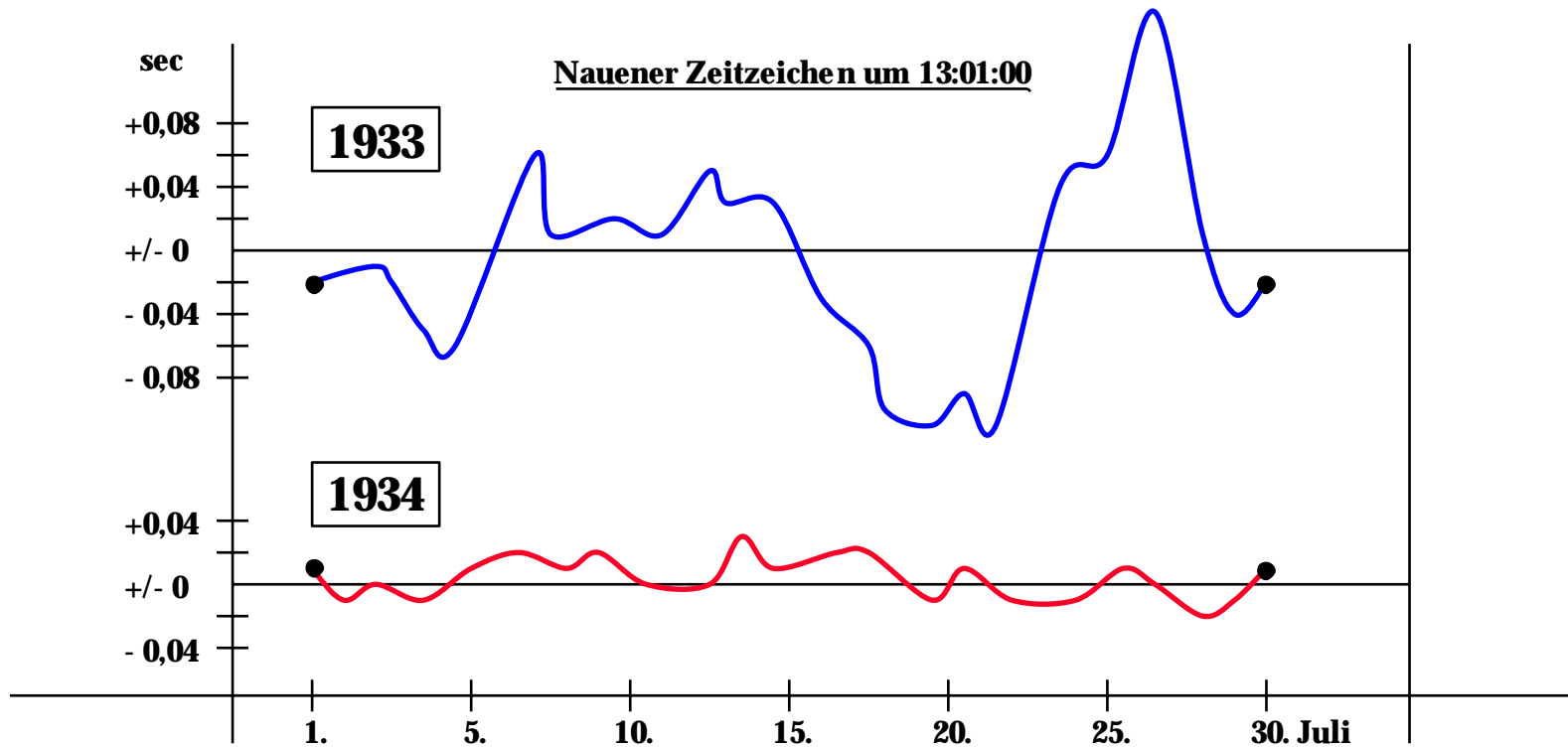
Damit wurde die QIII ein >> Öffentliches Zeit- und Frequenzmaß << und es war oberste Aufgabe, eine mögl. lange → ungestörte Betriebsperiode sicherzustellen !!

Vor → Eingriffen in die Strombelieferung und in die Schaltungen der Uhr wurde > deshalb grundsätzlich abgesehen !!!

Die QIV wurde dagegen meistens als → Versuchsuhr zum Studium / Erprobung > der Beeinflussungsmöglichkeiten von Frequenz und Gang betrieben

Da die → absolute tägliche Gangänderung der QIII von >> 0,000 02 sec/d << sehr genau bekannt war, konnten auch die täglichen Gänge von QI und QII sehr genau → angegeben werden, die auch weiterhin gute Dienste bei der → täglichen > Vergleichung der vier Uhren leisteten <

Ab Sept. 1933 wurden die Syn-Kontakte der QIII dem Zeitdienst der Seewarte in Hamburg über Fernleitung nutzbar gemacht. Täglich 1,5 h vor Aussendung des Nauener Zeitzeichens um 13:01:00 erfolgt die Übertragung einer Folge von >> Kontaktschlägen <<



Die Zuverlässigkeit des Zeitzeichens ist jetzt im Mittel etwa > +/- 0,02 sec <

Im Frühjahr 1933 zeigten die beiden in jeder Beziehung gleich gebauten Uhren QI und QII erhebliche Gangänderungen, die bei beiden Uhren > relativ groß < und über das Maß der gegenseitigen Schwankungen > weit hinaus < gingen !!!

Da den beiden Forschern dieser Tatbestand noch nicht experimentell → genügend geklärt schien, gaben sie hierzu später zu Protokoll:

“Wir konnten uns trotz der durch diesen Befund gegebenen naheliegenden Deutung, dass die Gangänderung durch eine Schwankung in der astronomischen Tageslänge vorgetäuscht sei, nicht zu einer Veröffentlichung entschließen ...“

Ob nicht doch bei den Uhren selbst die Ursache der Gangänderung zu suchen ist ?

Jedenfalls waren A. Scheibe und U. Adelsberger mehr als → verunsichert und sie setzten auf die Ergebnisse der nächsten Uhrengeneration ...

Im Verlauf des Juni 1934 trat bei den Quarzuhren QI und QII und bei der völlig >> anders gebauten << QIII → wiederum eine für die drei Uhren bis auf wenige

> zehntausendstel Sekunden → gleiche Gangänderung auf !!!

Eine lebhafte Diskussion des Verhaltens der Uhren vor / nach diesem Termin ergab, dass die Gangänderung mit höchster Wahrscheinlichkeit doch nicht den

> Uhren sondern der astronomischen Tageslänge >> zur Last zu legen << ist !!!

Der Beweis war für A. Scheibe und U. Adelsberger deshalb zwingend, weil für die Messungen zwei Uhrentypen zur Verfügung standen, die → unterschiedlich auf äußere Einwirkungen (thermisch und elektrisch) reagierten.

Daraufhin haben sie sich in 1935 entschlossen an → die Öffentlichkeit zu gehen:

“Durch unsere mehrjährigen Versuche dürfte zum erstenmal der Nachweis einer Inkonstanz der astronomischen Tageslänge erbracht sein, die wohl auf Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit der Erde zurückzuführen ist.“

Die für die damalige Zeit > ungeheuerliche < Behauptung führte zu → heftigen Reaktionen im Inland und insbesondere im europäischen Ausland. Sollte das > wirklich zutreffen, dann hätte das eine kaum abzusehende Tragweite

Die veröffentlichten konkreten Meßwerte und Berechnungen zum Nachteil der PPU verursachten zwangsläufig → sehr große Vorbehalte in der → Fachwelt !!!

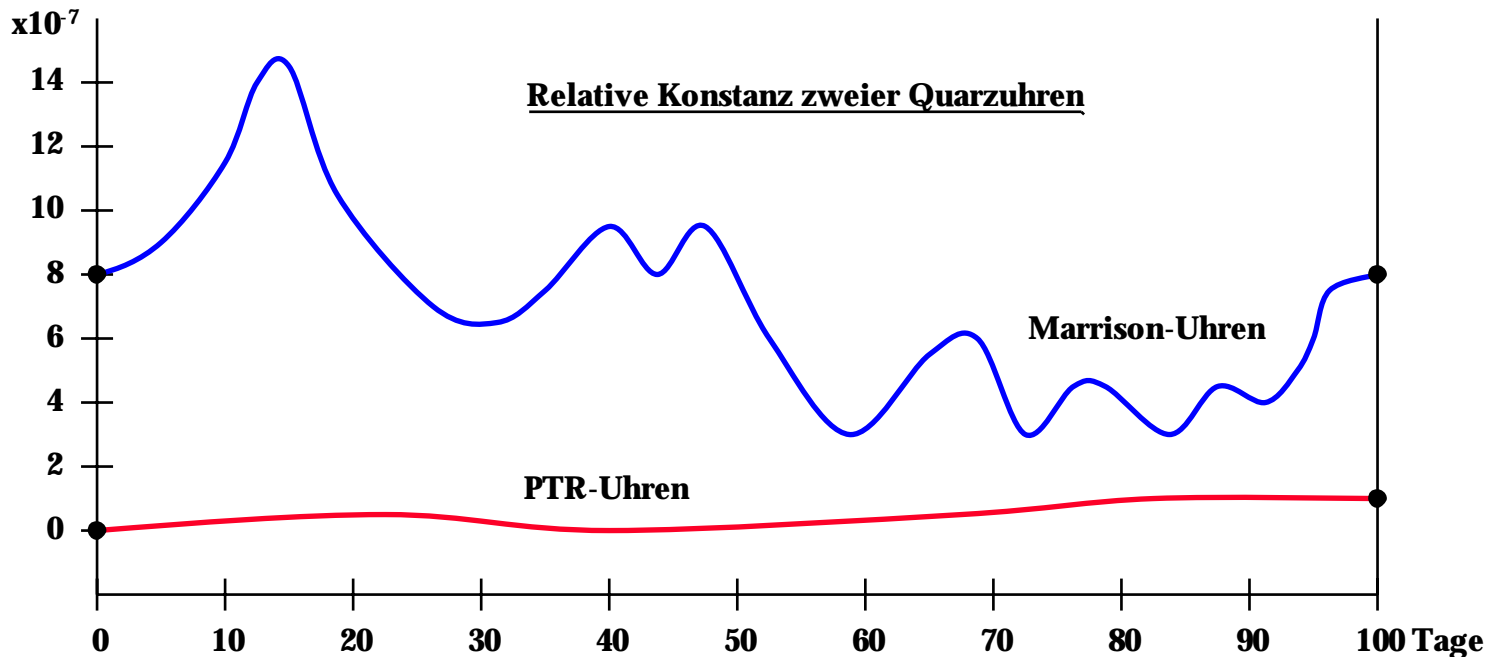
Am meisten exponierte sich N. Stoyko vom BIH in Paris mit einer detaillierten Arbeit (Precision d'un Garde-Temps Radio-Electrique a Quartz) mit Hilfe des ihm zur Verfügung stehenden Gangmaterials von > 9 Zeitinstituten < und den Verbesserungen des Nauener Koinzidenzsignals.

Er berechnet eine fünfmal kleinere Gangschwankung der mittl. astronomischen Uhr und eine dreimal größere mittl. tägliche Gangschwankung der Quarzuhr !!

Aber die beiden Forscher in Berlin waren sich ihrer Sache sicher und ließen sich nicht aus der Ruhe bringen:

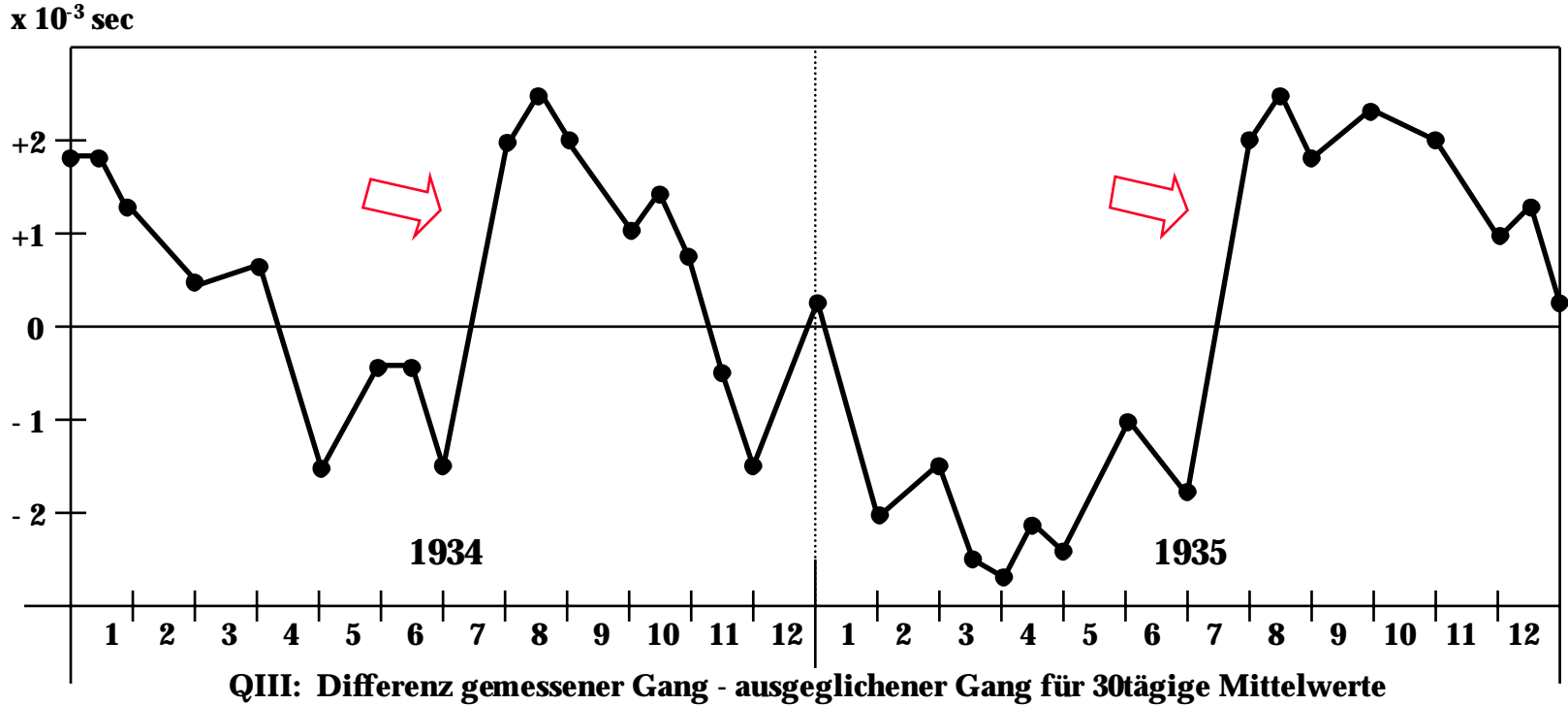
... es ist müßig über unterschiedliche Rechenverfahren zu diskutieren ... wir halten es für fruchtbarer das vorliegende experimentell ermittelte Gangmaterial → für sich sprechen zu lassen ...

Wegen der "schlechten" langzeitigen Ergebnisse der Crystal-Clock von Marrison war es → verbreitete Meinung, dass Quarzuhren den PPU über lange und längste
 → **Zeiten eindeutig unterlegen sind !!!**
 Das Ergebnis einer Gegenüberstellung der Differenzgänge je zweier Quarzuhren sagt etwas >> ganz anderes << aus



Die PTR-Uhren zeigen bereits im Jan. 1935, dass sie in → allen Belangen erheblich
 >> besser als Pendeluhren sind <<

Nach Eingang sämtlicher Verbesserungen (Korrektur Zeitzeichenfehler) konnten die gesamten Gänge für 1935 bestimmt werden. Es zeigt sich ein ähnlicher Gangverlauf wie schon 1934 festgestellt !!!



Der zackenartige Verlauf: Für beide Jahre nahezu gleiche Beträge zu gleichen Zeiten. Die astronom. Tageslänge ist tatsächlich nicht konstant und die → Änderungen sind > anscheinend periodisch <

Die rasante → wehrtechnische Entwicklung neuer Kommunikations-, Navigations- und Feuerleitsysteme verlangte in der Folgezeit mehr und mehr nach hochgenauen

> Frequenzen sowie extrem präziser und zuverlässiger Zeitverbreitung

Trotz der Kriegswirren war man in der Lage weitere verbesserte Uhren (.. bis QIX) zu bauen, die dann auf schweren → Betonklötzen (mit Schwingungsdämpfern) in

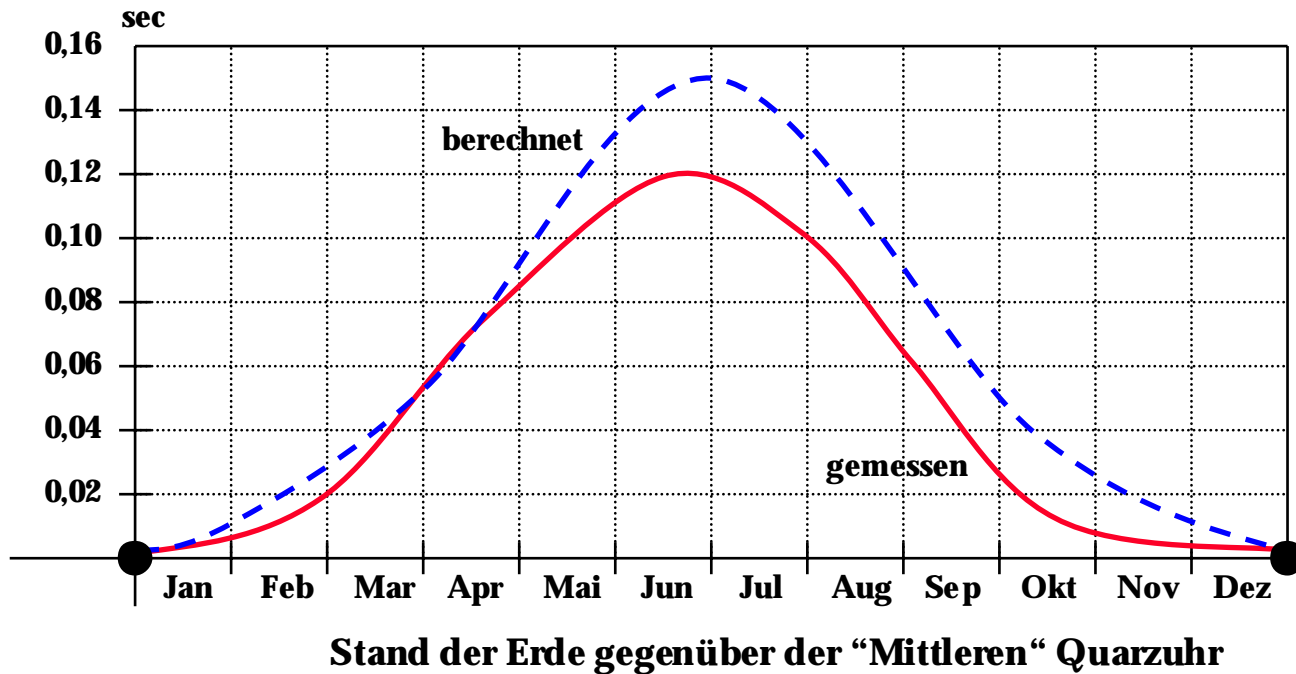
> Quarzuhrenkellern aufgestellt waren (Uhrenkästen standen auf Tennisbällen ...)

Die Auswertung des bis 1945 angehäuften Beobachtungsmaterials > untermauerte < die → systematischen Änderungen des täglichen Ganges → mit dem Jahresablauf !!!

Die → Bestätigung der Untersuchungen von A. Scheibe und U. Adelsberger erfolgte dann 1948 vom besagten N. Stoyko vom BIH (!!!) - Er veröffentlichte Messungen für die Epoche 1934 -1937 über die Gänge der Quarzuhren der Observatorien von Paris und Washington, die in ihrem Ergebnis den PTR - Messungen vollkommen gleichen

Nicht nur Amplitude und Phase - auch die Feinstruktur der Kurven stimmen völlig überein !!!

Die Berechnung der relativen Geschwindigkeitsschwankung der Rotation der Erde ergab gangmäßig $\pm 0,0015 \text{ sec/d}$ entsprechend einer Unsicherheit von $\pm 1,7 \times 10^{-8}$ des Wertes der mittleren Drehgeschwindigkeit



Es zeigt sich, daß die Erde im Sommer gegenüber der mittleren Quarzuhr
 >>> bis zu 0,12 sec nachgeht <<<

**In einer der vielen Würdigungen zu den richtungsweisenden Arbeiten von
Dr. Adolf Scheibe und Dr. Udo Adelsberger ist zu lesen:**

**Aus der ursprünglichen Aufgabe die Genauigkeit von Quarzuhren zu
überprüfen haben die beiden Forscher durch ein stark verbessertes
Meßverfahren ein wissenschaftliches Problem gelöst,
das sie vorher wahrscheinlich garnicht kannten !!!**

**Das Motiv für diesen Vortrag: Dass kreative Persönlichkeiten, die über Mut
und die Fähigkeit verfügen, um es mit einem Dogma aufzunehmen, nicht in
>>> Vergessenheit geraten <<<**

- >>>> **Geboren am 09. März 1895 in Zeulenroda / Thüringen
Volks- und Realschule in Zeulenroda, Abitur in Plauen**
- > **1914 Mathematik- und Physikstudium Universität München
Kriegsdienst während des 1. WK, Forts. des Studiums
in München bei dem legendären → Prof. Conrad Röntgen**
- > **1923 Promotion über Hochfrequenztechnik Universität Jena (bei Max Wien)**
- > **1925 Eintritt als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in die → PTR in Berlin**
- > **1928 Regierungsrat und Vorsteher des Hochfrequenz - Labors (HFL)**
- > **1940 Kriegsdienst Beginn des 2. WK → Umzug 1943 HFL nach Zeulenroda**
- > **1945 Transport des HFL (im Konvoi der Amerikaner) nach Heidelberg
Mann der ersten Stunde der → Physikalisch Technischen Anstalt PTA
Amt. Präsident (1950 - 1951) PTB - 1953 Leit. Direktor Abt. I Mechanik**
- > **1955 Honorarprofessor an der Technischen Hochschule Braunschweig**
- >>>> **Verstorben am 20. April 1958 in Berlin**



- >>>> **Geboren am 07. Juni 1904 in Königsberg / Preußen
Realschule, Oberrealschule, Abitur 1923**
- > **1923 Beginn Mathematik-, Chemie- und Physikstudium
an der Albertus - Universität in Königsberg**
- > **1927 Promotion und Eintritt als Angest. in die PTR in Berlin**
- > **1931 Wechsel ins Hochfrequenz - Laboratorium (HFL) unter A. Scheibe**
- > **1936 Regierungsrat → Aug. 1943 Umzug mit dem HFL nach Zeulenroda**
- > **1945 Transport des HFL (im Konvoi der Amerikaner) nach Heidelberg**
- > **1950 Umzug nach Braunschweig zur PTA = Vorläufer der PTB
Leiter des Laboratoriums für Zeit- und Frequenzmessung**
- > **1953 Direktor der Unterabteilung IA und Amtsprofessor der PTB
Bis zum Ruhestand 1969 betraut mit vielen internationalen Aufgaben:
Komitee zur Definition der Sekunde, Apollo Programm der NASA ...**
- >>>> **Verstorben am 06. Januar 1992 in Heidelberg**



>>>> **Geboren am 07. Dez. 1876 in Straßburg
Realgymnasium in Göttingen, Abitur
Studium in Göttingen und Heidelberg**

> **1906 Assistent am Kaiserl. Marine Observatorium
in Wilhelmshaven**



Zeitball von Tsingtau

> **1909 Direktor des von ihm erbauten Kaiserl. Marine
Observatorium in Tsingtau
Erbauer der berühmten Zeitball - Konstruktion**

> **1914 bis 1920 in japanischer Kriegsgefangenschaft !!!**

> **1921 Berufung als Professor und Observator an die
Universitätssternwarte Göttingen
Geheimer Regierungsrat**

Neben vielen astronomischen Veröffentlichungen dann

> **1928 in: Ergebnissen der exakten Naturwissenschaften:
> Die Schwankungen unseres Zeitmaßes <**

- 01 : Titel**
- 02 : Die Ausgangslage**
- 03 : Die Vorgeschichte**
- 04 : Die PTR**
- 05 : Die PTB**
- 06 : Die Nachahmer**
- 07 : Die Erfolgreichen**
- 08 : Zur Geschichte der Zeiteinheit**
- 09 : Die natürlichen Störgrößen**
- 10 : Die astronomische Tageslänge**
- 11 : Die Gewinnung der Zeit**
- 12 : Der wissenschaftliche Vorbehalt**
- 13 : Die astonom. Präzisionspendeluhren**
- 14 : Die frühe Zeitverbreitung**
- 15 : Zeitdienst und Zeitzeichenfehler**
- 16 : Der Beginn des Quarzzeitalters**
- 17 : Quarz und Piezoelektrizität**
- 18 : Der Beginn des Quarzuhrenbaus**
- 19 : Marrison´s Crystal - Clock**
- 20 : Die Uhrengruppe I / II**
- 21 : Blockschaltbild der PTR-Quarzuhren**
- 22 : Das Problem der Referenzzeit**
- 23 : Ermutigende erste Ergebnisse**
- 24 : Der Uhrenbau geht weiter**
- 25 : Die Uhrengruppe III / IV**
- 26 : Die Steuerquarze**
- 27 : Der innere Thermostat**
- 28 : Steuersender und Verstärker**
- 29 : Frequenzteiler und Synchronmotor**
- 30 : Zeitgeber und Schreiber**
- 31 : Die Apparatur**
- 32 : Beispiel einer Innovation**
- 33 : Frequenznormal und Zeitmaß**
- 34 : Die Schwebungsapparatur**
- 35 : Die Lieferanten der Zeit**
- 36 : Der verbesserte Zeitdienst**
- 37 : Die große Verunsicherung**
- 38 : Die Erkenntnis**
- 39 : Die Reaktionen**
- 40 : Der Uhrenvergleich**
- 41 : Der endgültige Beweis**
- 42 : Die Genugtuung**
- 43 : Vom Maßstab zur Meßgröße**
- 44 : Die Würdigung**
- 45 : Adolf Scheibe**
- 46 : Udo Adelsberger**
- 47 : Bruno Meyermann**
- 48 : Inhaltsverzeichnis**
- 49 :**
- 50 :**