

Werk

Jahr: 1938

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:14

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0014

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0014

LOG Id: LOG_0023

LOG Titel: Neuere Gangbeobachtungen an Pendeluhren

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Neuere Gangbeobachtungen an Pendeluhrn

Von **H. Gockel**, Göttingen — (Mit 6 Abbildungen)

Es werden neuere Gangbeobachtungen an den Schuler-Uhren während der Monate Mai bis September 1937 mitgeteilt. Die Uhren zeigen gleichzeitig mit dem Zeitsignal von Rugby Sprünge des Uhrganges von der Größenordnung $\frac{1}{100}$ sec/dies. Die Gangsprünge wiederholen sich etwa alle 6 Tage und müssen auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt werden. Die Ursache der Gangänderungen wurde noch nicht festgestellt. Gleichzeitig gibt die Arbeit einen Überblick über die augenblicklichen Gangleistungen der Schuler-Uhren, deren Genauigkeit bei Beseitigung der Gangsprünge um das 10fache gesteigert werden könnte.

1. Aufbau und Betriebsdaten der Uhren. Es soll an dieser Stelle über die Gangmessungen berichtet werden, die vom Verfasser im Jahre 1937 an den beiden in der Sternwarte Göttingen aufgestellten Schuler-Pendeln gemacht wurden. Die Messungen wurden auf Anregung und mit Beratung von Prof. M. Schuler durchgeführt.

Beide Uhren haben als Pendelmasse ein „Ausgleichpendel“, das aus einem Stück Invarstahl geschmiedet ist. Durch das Ausgleichprinzip wird der Uhrgang unempfindlich gegen Längenänderungen am Aufhängepunkt des Pendelstabes*). Die Pendel sind in einem mit 100 mm Wasserstoff gefüllten Zylinder aufgehängt und auf Schneiden gelagert, die auf ebenen Lagertischen aus Achat ruhen. Um ein „freies Pendel“ zu bekommen, d. h. ein Pendel mit größter Unempfindlichkeit gegen äußere Störungen, werden die Pendel elektromagnetisch angetrieben. Am oberen Ende des Pendelstabes befindet sich ein permanenter Magnet, der in einer Spule mit der Pendelbewegung hin- und herschwingt. Durch die Antriebsspule fließt ein in jeder Sekunde umgeschalteter Strom, der den Stab elektromagnetisch antreibt.

Die Umschaltung des Stromes in der Antriebsspule erfolgt bei beiden Uhren grundsätzlich verschieden. Die Uhr I steuert sich selbst, eine Hilfsuhr wird nicht benötigt. Am unteren Ende des Pendelstabes befindet sich eine Blende, die in der ersten Halbschwingung des Pendels einen Lichtstrahl abdeckt, der in der zweiten Halbschwingung auf eine Photozelle fällt. Die Photozelle steuert über einen Verstärker ein Schaltrelais. Das Relais lädt in jeder Sekunde über die Antriebsspule des Pendels einen Normalkondensator auf und entlädt den Kondensator in jeder zweiten Sekunde ebenfalls über die Antriebsspule. Bei der Auf- und Entladung des Kondensators fließt durch die Spule ein Stromstoß, der das Pendel im Durchschlagspunkt durch die Nulllage elektromagnetisch antreibt.

Die Uhr II benutzt den in der Literatur*) schon oft beschriebenen Antrieb mit Arbeitsuhr. Der Strom in der Antriebsspule wird dabei von einer Hilfsuhr geschaltet, die vom Hauptpendel völlig getrennt ist und die Schaltleistung über-

*) M. Schuler: Zeitschr. f. Phys. **42**, 547 (1927).

nimmt. Damit die Hilfsuhr mit dem Hauptpendel synchron läuft, wird sie zu jeder halben Stunde durch eine Verstärkeranlage mit Photozellensteuerung vom Hauptpendel selbsttätig synchronisiert.

Die beiden Schuler-Pendel waren in ihrem Antrieb vollkommen getrennt und unabhängig. Sowohl die auf höchste Konstanz stabilisierten Antriebsspannungen wie alle anderen Betriebsspannungen wurden getrennten Stromquellen und Schaltgeräten entnommen*). Die Uhren sind in getrennten Räumen aufgestellt, die themostatisch geschützt sind und eine Temperaturkonstanz bis zu $\pm 0.1^{\circ}$ aufweisen. Beide Pendel schwingen in verschiedenen Ebenen, sie sind an einem kräftigen Pfeiler der Sternwarte befestigt, auf dem das frühere große Beobachtungsfernrohr gestanden hat. Um Kopplungen auszuschalten, wurden sie um 10 sec/dies gegeneinander verstimmt. Eine gegenseitige Beeinflussung der Pendel ist so nicht möglich, weder über die Antriebsgeräte noch durch Energieübertragung zwischen den Uhren.

Die Pendel arbeiten mit einer Amplitude von etwa 60 Bogenminuten. In diesem Gebiet ist nach der elliptischen Funktion der Einfluß der Amplitudenschwankungen auf den Uhrgang noch nicht sehr groß. Andererseits kann man die Amplitude nicht viel kleiner machen, da die Uhren sonst zu empfindlich werden gegen Störungen durch Erschütterungen usw. Die Amplitude konnte auf ± 0.1 Bogenminute konstant gehalten werden. Die genaueren Betriebsdaten der Uhren waren folgende:

Pendel I schwingt in NS-Richtung mit einer Amplitude von $\pm 39.6'$, auf $\pm 0.1'$ konstant; angetrieben durch Selbststeuerung; Pendelraumtemperatur $22.8^{\circ} \pm 0.2^{\circ}$.

Pendel II schwingt in OW-Richtung mit einer Amplitude von $\pm 87.0'$, auf $\pm 0.15'$ konstant; angetrieben durch Arbeitsuhr; Pendelraumtemperatur $23.0^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$.

2. *Die Meßgenauigkeit.* Vor der Mitteilung der Beobachtungsergebnisse muß noch auf die Meßgenauigkeit eingegangen werden, die bei der Ermittlung des Uhranges erreicht wurde. Um den täglichen Uhrgang zu bekommen, wurden die Uhrstände an jedem Tag mit dem Zeitsignal von Nauen 13.01 Uhr verglichen. Bringt man an den Signalständen die von den verschiedenen Zeitinstituten monatlich herausgegebenen genaueren Korrekturen an, so bekommt man den Anschluß an die astronomische Zeit, die für die Korrektur der Signalstände zugrunde gelegt wurde. Die Beobachtungen wurden so ausgeführt, daß jeden Tag um 13.01 Uhr das Nauen-Signal und die Sekunden-Kontakte der Pendel mit einem S. & H.-Schleifenoszillographen photographisch registriert wurden. Aus dem Abstand des Signaleinsatzes von dem betreffenden Uhrkontakt lassen sich auf dem Oszillographenfilm die Uhrstände bestimmen (Fig. 1). Als Vergleichsmaßstab

*) H. Gockel: Phys. Zeitschr. **38**, 65 (1937).

zwischen den vollen Sekunden-Kontakten wurden die Schwingungen einer 100-Hertz-Stimmgabel mitregistriert.

In jede Messung gehen so die Fehler der Stimmgabel mit ein. In einer 100-tägigen Meßzeit wurde daher die Stimmgabel geprüft. Es ergab sich dabei ein mittlerer Fehler der Stimmgabel von $\pm 0.43\%$. In jede Signalbeobachtung geht ein Stimmgabelfehler von $\pm 2.2 \cdot 10^{-3}$ sec ein. Bei der Bildung des täglichen Uhranges ergibt das einen Gangfehler von $\sqrt{2} \cdot 2.2 \cdot 10^{-3} = \pm 3.1 \cdot 10^{-3}$ sec/dies. Dazu kommt noch der Ablesefehler der Sekunden-Kontakte bei der Auswertung der Filme. Zählt man diesen zu dem Stimmgabelfehler zu, so erhält man den gesamten *Beobachtungsfehler*, der zu

$$M_B = \pm 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ sec/dies}$$

ermittelt wurde. Dieser Wert läßt sich verringern, wenn es nur auf die Uhrvergleiche der beiden Pendel untereinander ankommt. In diesem Falle kann die Aufnahmezeit beliebig gewählt werden, das Nauen-Signal wird überflüssig. Die

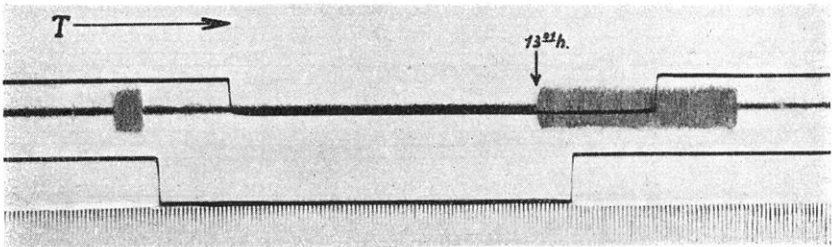


Fig. 1. Nauen-Signal mit den Sekunden-Kontakten der beiden Uhren und der 100 Hertz-Stimmgabelmarke

Stimmgabelfehler werden am kleinsten, wenn die Sekunden-Kontakte der beiden Pendel synchron schalten, d. h. wenn sich die Uhrgänge überholen. Da die Pendel eine Verstimmung von etwa 10 sec/dies gegeneinander hatten, geschieht das am Tag zehnmal. Man kann also zehn Aufnahmen am Tag machen, bei denen die Stimmgabel nur in einem sehr kleinen Bereich als Zeitmaßstab benutzt wird. Nehmen wir an, daß die Sekunden-Kontakte der beiden Pendel zur Registrierzeit höchstens $\frac{1}{10}$ sec auseinanderliegen, so beträgt der durch die Stimmgabel verursachte Meßfehler $= \pm 0.1 \cdot 0.43 \cdot 10^{-2}$ sec $= \pm 4.3 \cdot 10^{-4}$ sec.

3. *Genauigkeit des Uhranges.* Die Messungen des Uhranges erstreckten sich über die Zeit vom 12. Mai bis 9. September 1937. Wegen Umbauarbeiten in der Sternwarte mußten die Beobachtungen im September abgebrochen werden. Für die Auswertungen der Gänge wurden die täglichen Registrierungen des Nauen-Signals 13.01 Uhr mit den Sekunden-Kontakten der beiden Uhren zugrunde gelegt. Aus den Oszillogrammen lassen sich einmal die Uhrgänge der beiden Pendel gegeneinander und dann die Uhrgänge der Pendel gegen die astronomische Zeit

bestimmen. Die Korrektur der Signalstände des Nauen-Signals wurde nach den Verbesserungsangaben des Geodätischen Instituts Potsdam vorgenommen. Es sind so die Pendel an die Potsdamer astronomische Zeit angeschlossen.

Aus der Differenz zweier aufeinander folgender Standbeobachtungen wurden stets die *täglichen Gänge* gebildet. Um die Uhrgänge auf den Wert Null zu reduzieren, mußte von den täglichen Gängen ein fester Gangwert abgezogen werden, denn die Pendel waren sowohl gegen die astronomische Zeit wie gegeneinander in ihrer Schwingungszeit verstimmt. Die Abweichungen vom Wert Null entsprechen den täglichen Gangfehlern der Uhren. In Fig. 2 sind diese Uhrgänge für die Zeit von Mai bis September 1937 aufgetragen. Die Werte sind unverbesserte Gangwerte, sie enthalten noch alle Beobachtungs- und Meßfehler. Aus der Abbildung sieht man, daß Gangabweichungen um mehr als $\frac{1}{100}$ sec/dies sehr selten sind. Die beiden Uhren gehen etwa gleich genau, die relativen Uhrgänge

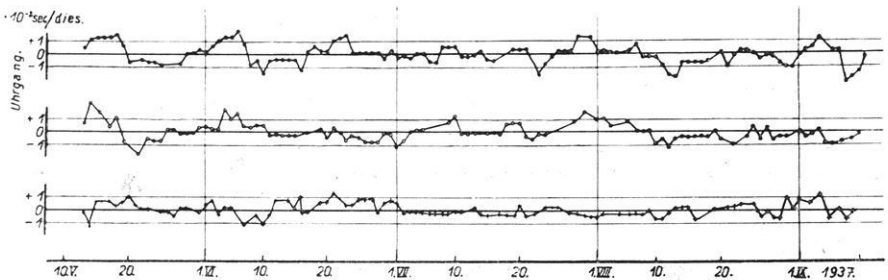


Fig. 2. Genauigkeit des Uhrganges: Mai—September 1937

- Gang Uhr I gegen Uhr II
- Gang Uhr I gegen Potsdamer astronomische Zeit
- ×—×—×— Gang Uhr II gegen Potsdamer astronomische Zeit

der Pendel gegeneinander zeigen die gleichen Fehler wie die Gänge gegen astronomische Zeit. Bemerkenswert ist, daß die Konstanz des Uhrganges über die Zeit von 120 Tagen sehr gut ist, der Uhrgang wird weder größer noch kleiner. Eine Tendenz in der Verteilung der Meßpunkte ist nicht festzustellen, die Streuung scheint unregelmäßig zu sein. Es ist also aus diesen Beobachtungen nicht zu erkennen, wodurch die Gangfehler hervorgerufen sind. Es erwiesen sich für die Feststellung der Fehlerquellen die *Standbeobachtungen* als geeigneter. Daher wird auch im folgenden den Standbeobachtungen größere Beachtung geschenkt, aus ihnen lassen sich systematische Uhrfehler leichter erkennen als aus den Uhrgängen.

Vorher sollen jedoch noch die *mittleren täglichen Gangfehler* der Uhren berechnet werden. Aus den Beobachtungen wurde für den Gang der Uhr I gegen die astronomische Zeit von Potsdam ein mittlerer täglicher Gangfehler von $\pm 7.07 \cdot 10^{-3}$ sec/dies ermittelt. Der gleiche Fehler für die Uhr II beträgt $\pm 6.31 \cdot 10^{-3}$ sec/dies. Für den relativen Gang der Uhr I gegen die Uhr II wurde ein mittlerer täglicher Gangfehler von $\pm 7.98 \cdot 10^{-3}$ sec/dies bestimmt. Zieht

man von diesen Fehlern den unter Absatz 2 angegebenen Beobachtungsfehler $M_B = \pm 3.6 \cdot 10^{-3}$ sec/dies ab, so ergeben sich als verbesserte mittlere Gangfehler für den Gang der Uhr I gegen astronomische Zeit: $M_{I+A} = \pm 6.08 \cdot 10^{-3}$ sec/dies. Gang der Uhr II gegen astronomische Zeit $M_{II+A} = \pm 5.20 \cdot 10^{-3}$ sec/dies. Relativer Gang der Uhr I gegen Uhr II: $M_{I+II} = \pm 7.14 \cdot 10^{-3}$ sec/dies. Die Fehler gegen astronomische Zeit sind nicht allein Uhrfehler, diese Werte enthalten auch die Fehler der astronomischen Zeitbestimmung. Da der Fehler des relativen Ganges der Uhren gegeneinander bekannt ist, lassen sich die reinen Uhr- von den Fehlern der astronomischen Zeitbestimmung trennen. Führt man dies nach den Gleichungen: $M_{I+A} = \sqrt{(M_I)^2 + (M_A)^2}$; $M_{II+A} = \dots$ usw. durch, so bekommt man als *mittlere Fehler des täglichen Ganges* der:

Uhr I	$M_I = \pm 5.5 \cdot 10^{-3}$ sec/dies
Uhr II	$M_{II} = \pm 4.5 \cdot 10^{-3}$ „
Astronomischen Zeit . .	$M_A = \pm 2.6 \cdot 10^{-3}$ „

Es ergibt sich ein verhältnismäßig kleiner Fehler für die astronomische Zeit, wenn man bedenkt, daß sich dieser Wert aus den Fehlern der Zeitbestimmung in Potsdam und den Aufnahme Fehlern des Signals in Göttingen und Potsdam zusammensetzt. Andererseits zeigt die Rechnung, daß die Fehler der Uhren nicht auf Kosten eines zu groß angenommenen Fehlers der astronomischen Zeit als zu günstig berechnet wurden.

Die Werte zeigen, daß beide Pendeluhren etwa gleich gut gehen und eine Gangkonstanz erreichen, die sich nur noch mit den Gangleistungen der Quarzuhren vergleichen läßt. Eine Bildung des *10 täglichen* Uhr ganges wurde an dieser Stelle vermieden, da die Gangleistungen einer Uhr nur durch die mittleren *täglichen* Gangfehler einwandfrei dargestellt werden. Die Uhrfehler, über 10 Tage gemittelt, ergeben natürlich bedeutend günstigere Fehlerwerte.

4. Sprünge des relativen Uhr ganges der beiden Uhren. Da aus den Gangwerten nicht zu erkennen ist, wodurch die Genauigkeit der Uhren begrenzt ist, wurden als Ergänzung zu den Nauen-Aufnahmen am Tag mehrere Uhrvergleiche der beiden Uhren zu anderen Zeiten aufgenommen. Es kam dabei nur auf einen Vergleich der beiden Uhrstände untereinander an. Um eine möglichst hohe Meßgenauigkeit zu bekommen, wurden die Aufnahmen zu den Zeitpunkten gemacht, an denen die Sekunden-Kontakte der beiden Pendel synchron schalten, das war alle 4.8 Stunden. Es wurde so eine Meßgenauigkeit von $\pm 4.3 \cdot 10^{-4}$ sec erreicht (siehe Absatz 2).

Diese engeren Meßreihen, die völlig unabhängig von dem Nauen-Signal aufgenommen sind, zeigten nun das wichtige Ergebnis, daß der relative Uhr gang der beiden Pendel plötzliche *Gangsprünge* macht. Mehrere Tage ist der Uhr gang sehr konstant und plötzlich, fast auf die Stunde genau festzustellen, ändert sich der Gang um ein Vielfaches der Meßgenauigkeit. Die Gangsprünge sind sehr schön in den Standkurven der Fig. 3 zu verfolgen. Die Abbildung gibt drei Meßreihen wieder. Bei der letzten Reihe vom 15. bis 30. Juni wurden weniger Standvergleiche

aufgenommen, die Sprünge sind aber auch hier eindeutig festzustellen. Um einen Überblick über die Ganggenauigkeit in den ungestörten Bereichen zwischen den Sprungtagen zu geben, habe ich die Standwerte vom 27. Mai bis 7. Juni noch einmal getrennt in Fig. 4 aufgetragen. Die beiden Geraden *A* und *B* wurden dabei

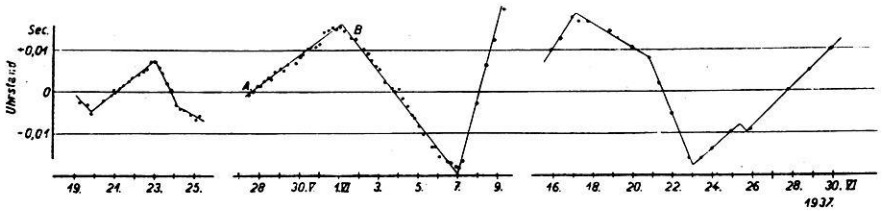


Fig. 3. Relativer Uhrstand der beiden Pendel aus drei engeren Beobachtungsreihen

getrennt ausgeglichen und so aufgetragen, als wenn kein Sprung vorhanden wäre. Die Rechnung ergibt für die Gerade *A* einen mittleren Gangfehler von ± 0.00011 sec/dies, für die Gerade *B* einen mittleren Gangfehler von ± 0.00013 sec/dies. Der Sprung vom 1. Juni hat eine Größe von $9.89 \cdot 10^{-3}$ sec/dies und ist auf

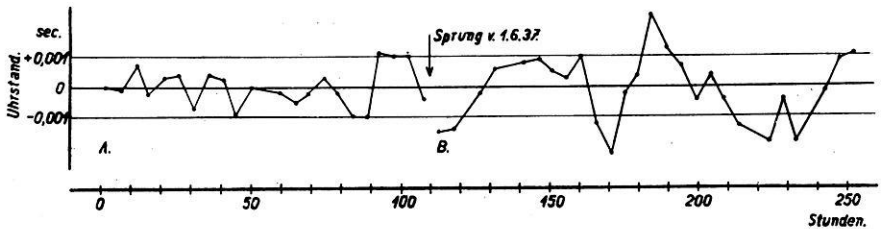


Fig. 4. Relativer Uhrstand der beiden Pendel vom 27. Mai bis 7. Juni 1937

$1.7 \cdot 10^{-4}$ sec/dies genau festgestellt, das entspricht einer Meßgenauigkeit der Sprünge von 2%. Dies Beispiel soll zeigen, daß die Sprünge auf jeden Fall reell sind, die Meßgenauigkeit ist auch bei den anderen Gangsprüngen nicht kleiner. Außerdem zeigt es die hohe Genauigkeit der Uhren an den Tagen, an denen keine Gangsprünge auftreten.

5. Die Uhrstände nach den Nauen-Signalaufnahmen. Doch nicht nur diese engeren Beobachtungsreihen des relativen Uhganges der Pendel zeigen die Sprünge auf. Auch die Standwerte, die aus den Nauen-Signalaufnahmen gewonnen wurden, lassen deutlich die Gangsprünge erkennen. Die Nauen-Aufnahmen ermöglichen einen Anschluß der Uhren an die astronomische Zeit, und so läßt sich weiter feststellen, welche der beiden Uhren die Sprünge hervorruft. Dies ist aus den relativen Gangwerten nicht zu ersehen. Das Ergebnis der Auswertung der Nauen-Signalaufnahmen gibt Fig. 5. Die oberste Kurve entspricht dem relativen Uhrstand der beiden Uhren gegeneinander, die beiden unteren Kurven zeigen die Stände der

Uhren gegen die Potsdamer astronomische Zeit. Diese Kurven zeigen einmal *langperiodische Schwankungen* von etwa 40 Tagen Periode, außerdem aber auch plötzliche Gangsprünge. Die längeren, scheinbar stetigen Schwankungen des Uhrstandes, laufen bei beiden Pendeln im gleichen Sinne. Es ist dies ein Beweis dafür, daß die astronomische Zeit nicht mit der aus der Erdgravitation bestimmten Zeit übereinstimmt. Da beide Pendel getrennt voneinander arbeiten, kann man diese Schwankungen nicht auf innere Uhrfehler zurückführen. Es sind entweder Schwankungen der Erdrotation oder des Absolutwertes der Schwere in Göttingen. Von den Schwankungen scheinbar völlig unabhängig sind aber auch die Sprünge des

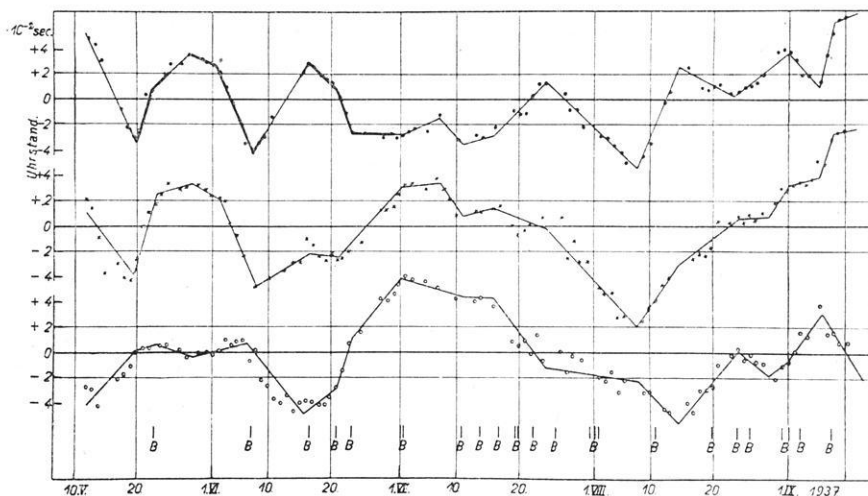


Fig. 5. Die Uhrstände nach den Nauen-Aufnahmen

- Relativer Stand: Uhr I gegen Uhr II
- x-x-x- Stand der Uhr I gegen astronomische Zeit
- o-o-o-o- Stand der Uhr II gegen astronomische Zeit

Uhrstandes vorhanden. Diese kommen besonders in der oberen Kurve, den relativen Uhrständen, klar zum Ausdruck, denn einmal fallen hier die Fehler weg, die die Übertragung der astronomischen Zeit mit sich bringt und dann heben sich in dieser Kurve alle gleichsinnigen Schwankungen auf, die die beiden Pendel einzeln gegen astronomische Zeit machen*). Aus den Vergleichen mit der astronomischen Zeit ergibt sich, daß die Sprünge nicht auf eine Uhr zurückgeführt werden dürfen, sondern daß *beide* Uhren Gangsprünge aufweisen. Das sonderbare ist aber nun, daß die Uhren die Sprünge *zur gleichen Zeit* machen. An demselben Tag, an dem die Uhr I einen Gangsprung macht, zeigt sich auch der Knick in der Standkurve der Uhr II. Bei der Auswertung und Zeichnung der Fig. 5 ist es nicht möglich, die Sprünge der beiden Pendel auf verschiedene Tage zu verteilen, da man sonst

*) H. Gockel: Zeitschr. f. Geophys. 13, 223 (1937).

keine quantitative Übereinstimmung der Standkurven gegen astronomische Zeit mit den relativen Uhrständen der Pendel untereinander bekommt. Die Sprungtage sind durch die relativen Standwerte ziemlich eindeutig bestimmt.

Der Abstand der Gangsprünge beträgt im Mittel 6 Tage. Auf 120 Tage wurden 19 Gangsprünge der Uhr I gegen Uhr II gemessen, die ich in der Tabelle (Absatz 6) zusammengestellt habe. Die Aufstellung gibt die Größe und das Vorzeichen der Gangänderungen an, und zeigt noch einmal deutlich, daß die Sprungtage bei beiden Pendeln zusammenfallen.

6. *Koinzidenz der Gangsprünge mit den Gangänderungen des Rugby-Zeitsignals.*
Nachdem die Koinzidenz der Sprünge bei beiden Uhren feststand, mußte man von vornherein annehmen, daß die Gangänderungen durch äußere Einflüsse ausgelöst

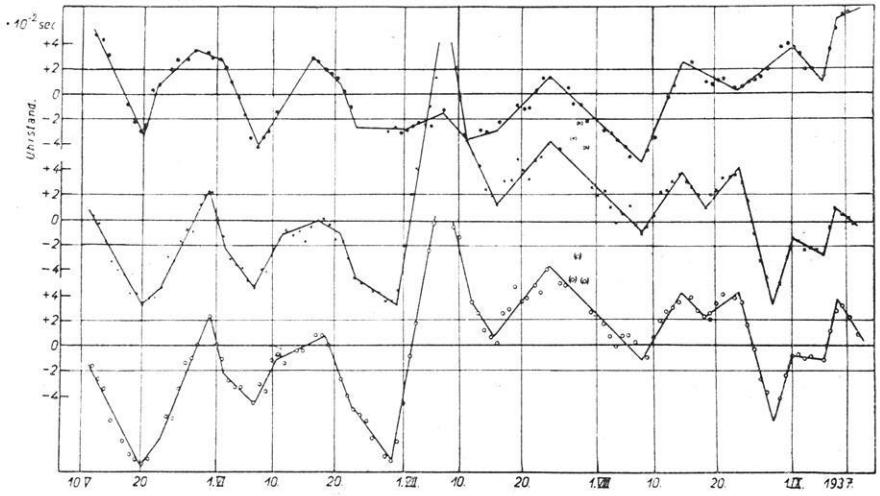


Fig. 6. Vergleich der Gangsprünge der Schuler-Pendel mit denen des Rugby-Zeitsignals 10.00^h MGZ

- Relative Uhrstände der Schuler-Uhr I gegen Uhr II, Stand der Rugby-Signals gegen astronomische Zeit :
- ×—×—×— nach den Verbesserungen von Greenwich
- nach den Verbesserungen von Potsdam

werden, denn die beiden Pendel können sich in keiner Weise gegenseitig beeinflussen. Dies wurde aber noch deutlicher, als es sich herausstellte, daß nicht nur die Göttinger Schuler-Uhren, sondern ebenfalls der in Greenwich aufgestellte Zeitgeber des Rugby-Zeitsignals die Gangsprünge macht. Das tägliche, über den Sender Rugby ausgegebene Zeitsignal 10.00^h und 18.00^h MGZ wird von einer Shortt-Uhr gesteuert, die in Greenwich aufgestellt ist. Das Signal ist ein Maß für die täglichen Stände der betreffenden Shortt-Uhr. Die von Greenwich herausgegebenen monatlichen Verbesserungen des Signals geben also die Stände der Signaluhr gegen die astronomische Zeit. In die Fig. 6 sind diese Verbesserungen

des Rugby-Signals 10.00^h MGZ für die Zeit von Mai bis September 1937 eingetragen. Die mittlere Kurve zeigt die Greenwicher Verbesserungen, die untere Kurve die vom Potsdamer Geodätischen Institut herausgegebenen Verbesserungen des gleichen Signals. Beide Kurven machen die gleichen Knicke, die Signaluhr des Rugby-Zeichens macht sowohl gegen die Greenwicher wie Potsdamer astronomische Zeit Gangsprünge. Und diese Gangsprünge fallen mit denen der Göttinger

Gangsprünge der Uhren von Mai bis September 1937

Alle Werte in Tausendstel sec/dies

Nr.	Tag	Schuler I gegen Schuler II	Schuler I gegen astronom. Zeit	Schuler II gegen astronom. Zeit	Rugby-Signal gegen astronom. Zeit
1	20. V.	+ 28	+ 24	- 4	+ 14
2	23. V.	- 14	- 17	- 3	+ 6
3	28. V.	- 8	- 5	+ 3	-
4	31. V.	-	-	-	- 39
5	1. VI.	- 10	- 10	-	+ 11
6	7. VI.	+ 25	+ 16	- 8	+ 16
7	12. VI.	-	-	-	- 7
8	17. VI.	- 11	- 3	+ 9	+ 4
9	21. VI.	- 10	+ 6	+ 16	- 13
10	23. VI.	+ 14	-	- 14	+ 13
11	1. VII.	+ 2	- 5	- 7	+ 33
12	7. VII.	- 7	- 7	-	- 55
13	11. VII.	+ 7	+ 9	+ 2	+ 15
14	16. VII.	+ 4	- 3	- 7	+ 16
15	24. VII.	- 10	- 4	+ 6	- 11
16	8. VIII.	+ 17	+ 13	- 5	+ 13
17	15. VIII.	- 15	- 4	+ 11	- 16
18	18. VIII.	-	-	-	+ 14
19	24. VIII.	+ 6	- 4	- 10	- 25
20	29. VIII.	-	+ 7	+ 7	+ 33
21	1. IX.	- 10	- 6	+ 4	- 17
22	6. IX.	+ 31	+ 15	- 15	+ 23
Durchschnittl. } Sprunggröße }		12.7	8.8	7.7	18.8

Uhren zusammen, das beweist der Vergleich mit der oberen Kurve. Hier sind noch einmal die Standwerte der Uhr I gegen Uhr II aufgetragen, die Kurve wurde der Fig. 5 entnommen. Man sieht sofort, daß diese Standwerte mit den Rugby-Signalständen synchron laufen. Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Meßwerten ist ausgeschlossen, denn die Standwerte der Uhr I gegen Uhr II wurden aus den Göttinger Uhrvergleichen ohne irgendwelchen Anschluß oder Zusammenhang mit der astronomischen Zeit von Greenwich oder Potsdam gewonnen.

Die Fig. 6 gibt die Stände des Rugby-Signals 10.00^h wieder, ich hätte auch die Verbesserungen des 18.00^h-Signals wählen können, die Kurven zeigen den gleichen Verlauf. In der Zeit vom 20. bis 23. Juli weichen die Verbesserungswerte

von den gezeichneten Geraden der Figur ab. Eine Erklärung hierfür gab zufälligerweise eine Nachricht des Royal-Observatory Greenwich, in der erwähnt wurde, daß die Signalgeber-Apparatur am 20. Juli nachreguliert wurde.

Um die Größe der Sprünge bei den Schuler-Uhren mit denen der Shortt-Uhr vergleichen zu können, habe ich in der vorstehenden Tabelle alle gemessenen Gangsprünge zusammengestellt.

Man sieht, daß nur an wenigen Tagen eine Uhr den Gangsprung allein macht, in den meisten Fällen machen alle Uhren den Sprung gleichzeitig. Die Gangänderungen sind bei der Rugby-Signalluhr doppelt so groß wie bei den Schuler-Uhren. Eine Tendenz in der Verteilung der Vorzeichen scheint nicht vorhanden zu sein.

7. *Deutung der Gangsprünge.* Bei der Frage nach der Ursache der Gangsprünge muß zunächst betont werden, daß Gangänderungen von der Größenordnung $\frac{1}{100}$ sec/dies bei den Schuler-Uhren auf keinen Fall durch Abweichungen der Betriebsdaten erklärt werden können, denn die durch Temperatur, Amplitude usw. bedingten Gangänderungen der Uhren sind bedeutend kleiner. Alle drei Pendel, die Schuler-Pendel wie das Shortt-Pendel haben ein grundsätzlich verschiedenes Antriebssystem, eine gegenseitige Beeinflussung der Uhren ist ausgeschlossen. Außerdem können die Sprünge nicht zufällig entstehen, sondern es muß eine Störungsquelle geben, die auf alle drei Pendel einwirkt. Bei der Suche nach Koinzidenzen der Sprünge mit anderen physikalischen Erscheinungen wurde eine gewisse Übereinstimmung mit dem seismischen Verhalten der Erdoberfläche festgestellt. Dies zeigt die Fig. 5, in der alle Tage, an denen in Göttingen ein *Erdbeben* registriert wurde, durch die unten eingetragenen Buchstaben *B* gekennzeichnet sind. Die Beobachtungsdaten der Beben wurden mir freundlicherweise vom Geophysikalischen Institut Göttingen zur Verfügung gestellt. In die Zeichnung sind alle registrierten Beben, größere und kleinere, eingetragen. Eine große Anzahl von Beben fällt auf dieselben Tage, an denen die Pendel einen Gangsprung machen. In den Bereichen, in denen die Koinzidenz weniger überzeugend ist, ist die Streuung der Standwerte auch relativ größer. Es wäre vielleicht berechtigt, in diesen Gebieten eine größere Anzahl von Gangsprüngen anzunehmen. Wie weit die Beben in Wirklichkeit mit den Sprüngen in Zusammenhang stehen, ist heute noch nicht zu sagen. Außer seismischen Einwirkungen kämen vielleicht auch Störungen des Erdmagnetismus als gangändernde Ursachen in Frage. Ein Zusammenhang konnte jedoch hierbei in keiner Weise gefunden werden.

Schließlich bleibt noch die Frage, wodurch sich der Gang der Pendel ändert. Auch hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten, die ich kurz angeben will. Der Uhrgang ändert sich, wenn die Erdschwere, die Pendellänge oder die Mitschwingkonstanten zwischen Pendel und Gebäude schwanken. Daß die *Mitschwingkonstanten* bei drei getrennten Pendeln mit verschiedener Aufhängung zur gleichen Zeit springen sollen, ist wenig wahrscheinlich. Dagegen sind *Längensprünge des Invarstahles*, der zum Bau aller Pendel benutzt wurde, schon von anderer Seite

beobachtet worden. Es ist aber nicht zu erklären, warum die Pendellängen gleichzeitig springen sollen, zumal keine Koinzidenz mit der Aktivität des Erdmagnetismus festzustellen ist. Eine auslösende Wirkung von magnetischen Störungen wäre immerhin denkbar. Schließlich bleibt noch die Änderung der *Erdschwere* als Störungsursache. Änderungen des Absolutwertes der Schwere müssen sich bei den beiden in Göttingen aufgestellten Schuler-Pendeln gleich auswirken und sind daher in den relativen Standvergleichen nicht zu erkennen. Die relativen Standwerte (siehe Fig. 5) zeigen jedoch die Sprünge am deutlichsten. Wenn man annimmt, daß sich neben dem Absolutwert auch die Richtung der Schwere ändert, können auch die Sprünge bei den relativen Standwerten erklärt werden. Eine Richtungsänderung der Schwere *in* der Schwingungsrichtung eines Pendels bleibt ohne Einfluß auf die Schwingungszeit. Bei Abweichungen in der dazu *senkrechten* Richtung, in der der Pendelstab nicht nachfolgen kann, geht der Cosinus der Richtungsänderung in den Schwerewert ein. Da die Pendel in verschiedenen Ebenen schwingen, müssen sich demnach auch die Lotstörungen der Erdschwere verschieden auswirken. Es bleibt aber noch zu klären, ob die Lotstörungen die Schwingungszeit eines Pendels in der Größenordnung 10^{-7} ändern können.

8. *Zusammenfassung.* Bei zwei in Göttingen aufgestellten Schuler-Uhren mit verschiedenem Antrieb wurden Gangsprünge beobachtet, die sich etwa alle 6 Tage wiederholen und in der Größenordnung von $1/100$ sec/dies liegen. Die Sprünge erfolgen bei beiden Uhren zur gleichen Zeit und müssen eine gemeinsame Ursache haben. Durch Vergleiche mit den Verbesserungswerten des Rugby-Zeitsignals wurde festgestellt, daß die Signaluhr in Greenwich ebenfalls Gangsprünge macht, und zwar zu denselben Zeiten, an denen die Gänge der Göttinger Uhren sich ändern. Bei der Deutung dieser Beobachtungen wird eine gemeinsame Störungsursache angenommen. In einigen Zeitabschnitten ist eine Koinzidenz mit Erdbeben festzustellen. Die Gangänderungen können durch Schwankungen der Erdschwere, der Pendellänge oder der Mitschwingkonstanten zwischen Pendel und Gebäude hervorgerufen werden. Eine Feststellung, welche dieser Ursachen die Sprünge auslöst, kann heute noch nicht getroffen werden. Dies muß durch weitere Untersuchungen geklärt werden.
