

Gangresultate der Uhren.

Bei der Beurteilung der Angaben und Leistungen eines Zeitmessers kommen drei Größen in Betracht, die häufig miteinander verwechselt werden, nämlich der Stand, der Gang und die Variation oder Veränderung des Ganges.

Unter dem Stande versteht man die Differenz zwischen dem, was die Uhr wirklich anzeigt, und dem, was sie anzeigen sollte. So bedeutet z. B. „Stand + 3,2^{sek}“, daß die Uhr um 3,2^{sek} hinter der Normaluhr zurück ist oder „nachgeht“, andererseits z. B. „Stand — 1,4^{sek}“, daß sie um diesen Betrag vorgeht. Die Vorzeichen der Standangaben sind also derart gedacht, daß man sie als Korrektur zu den Angaben der Uhr zu addieren hat, wenn man die richtige Zeit bekommen will. — Für den Stand ist die Uhr nicht verantwortlich zu machen; man kann ihn sofort durch Stellen der Zeiger beseitigen, resp. wenn man den Sekundenzeiger mitkorrigieren will, durch entsprechend langes Anhalten, im Falle des Nachgehens verbunden mit einem Vorstellen um eine Minute. Bei astronomischen Uhren geschieht die Korrektur bekanntlich durch entsprechende Handhabung des Ferneinstellapparates, der Zulagegewichte oder der Luftpumpe, oder auch, wie bei den Chronometern, einfach durch Notieren des Standfehlers.

Der zweite in Betracht kommende Begriff ist der tägliche Gang. Er bedeutet die Änderung, welche der Stand im Verlaufe von 24 Stunden erfährt. z. B. heißt „Gang — 2,6^{sek}“, daß der Stand pro Tag um eben diese Größe abnimmt, oder daß die Uhr pro Tag 2,6^{sek} „gewinnt“; umgekehrt bezeichnet „Gang + 1,8^{sek}“ ein tägliches „Verlieren“ vom entsprechenden Betrage. Kennt man also den Stand einer Uhr sowie auch ihren Gang, so kann man den Stand, wie er z. B. nach zwei Tagen vermutlich sein wird, sofort dadurch ermitteln, daß man den Gang unter Berücksichtigung der Vorzeichen zweimal zu dem Stande addiert. — Der Gang ist somit kein Fehler der Uhr, so lange er konstant bleibt; man kann ihn in bekannter Weise durch die Pendelschraube, durch Zulagegewichte, durch die Luftpumpe oder durch den Nader beseitigen, oder ihn endlich, wie bei Seechronometern, einfach rechnerisch verwerten, ohne an der Uhr etwas zu verändern. Dies Verfahren ist auch bei Präzisions Taschenuhren,

von abnormen Fällen abgesehen, das empfehlenswerteste, weil die Betätigung des Rufers eine gewisse Unruhe in den Gang der Uhr bringt.

Stand und Gang berühren also die Zuverlässigkeit eines Zeitmessers in keiner Weise; anders steht es mit der Variation, d. h. der Änderung, welcher der Gang im Laufe der Zeit unterliegt. Betrug er z. B. am 10. April von Mittag bis Mittag gerechnet, $+ 2,5^{\text{sek}}$, am 11. $- 0,5^{\text{sek}}$, und am 12. $+ 1^{\text{sek}}$, so war die Variation, bei der es, wie bei jedem „zufälligen“ Fehler, auf das Vorzeichen im allgemeinen nicht ankommt, in der Zeit vom ersten zum zweiten Beobachtungstage $- 0,5 - 2,5 = 3$ und vom zweiten zum dritten Tage $1 - (- 0,5) = 1,5^{\text{sek}}$, also im Mittel $\frac{3 + 1,5}{2} = 2,25^{\text{sek}}$ pro Tag.

Der mathematisch Gebildete sieht, daß der Gang den ersten und die Variation den zweiten Differentialquotienten des Standes, genommen nach der Zeit, bedeutet. Die Größe der mittleren täglichen Variation gibt tatsächlich einen Maßstab für die Güte eines Zeitmessers ab; bei einem idealen Exemplar müßte sie null sein. Da man sie im allgemeinen nicht voraussehen kann, so kommt in die Angaben des Zeitmessers ein Element der Unsicherheit hinein, welches dem Instrument einen launenhaften Charakter verleiht. — Es hat im Grunde genommen keinen Sinn, bei einer Präzisionsuhr zu garantieren, daß ihre Abweichung, d. h. ihre Standveränderung pro Monat so und so viel, etwa eine Minute, nicht überschreiten werde; richtiger wäre es, die unter den verschiedenen Umständen beobachteten Gänge oder die mittlere und die höchste vorgekommene Tagesvariation anzugeben. Daraus aber einen Schluß auf die zu erwartende Monatsabweichung zu ziehen, wäre verfehlt, denn man kann nie wissen, welches Vorzeichen die kleinen und kleinsten Gangfehler haben und wie sie sich gruppieren werden, obschon natürlich ein gewisser allgemeiner Zusammenhang zwischen ihnen und der Abweichung besteht. Leider ist die große Masse des tausenden Publikums für diese Dinge noch nicht reif, obschon das Verlangen nach guten Taschenuhren entschieden im Steigen begriffen ist.

Wir gehen nunmehr auf die Ursachen der Variation näher ein und setzen dabei ein gut gearbeitetes Werk voraus, welches grobe Gangfehler ausschließt. Wie wir schon wissen, sind diese Ursachen zu suchen in der Veränderlichkeit der Temperatur, in

geringem Grade auch des Luftdruckes, in den Erschütterungen und Verschiebungen der Pendeluhren, den Bewegungen und Lagenveränderungen der Uhrgehäusen, in der Veränderlichkeit des Oies, und, last not least, in den Unvollkommenheiten des Werkes, bestehend in Verzahnungs-, Rapsen- und Hemmungsfehlern, Rostbildung, Abnutzung, molekularen Veränderungen der Federn und anderem mehr. Bei Pendeluhren mit guter Hemmung gilt im allgemeinen der Satz: grobe Variationen rühren vom Pendel her, kleinere vom Werk. — Wichtig ist die Unterscheidung der Ursachen in bekannte und unbekannte. Zu den ersteren gehört der Einfluß der Temperatur und des Luftdruckes, in gewissem Sinne auch die Zeit selbst, da im Verlaufe der Jahre und Jahreszeiten gewisse Gangänderungen eintreten, welche als „dauernde Akzeleration“ resp. als „Jahreslarve“ bezeichnet werden und sich mit Hilfe der Erfahrung mit einiger Sicherheit voraussagen lassen. Wären bloß diese vorhanden, so würden z. B. die Angaben eines Chronometers auf See unter Zuhilfenahme von Thermometer und Barometer jederzeit einigermaßen korrigiert werden können, und grobe „Zufälligkeiten“ oder Sprünge wären ausgeschlossen. Leider kommen aber die andern Störungsursachen hinzu, deren Richtung und Größe nicht bekannt ist, so daß sie uns als zufällige erscheinen. Der Mensch bezeichnet eben gemeinhin dasjenige als Zufall, dessen Kausalzusammenhang mit dem Vorangegangenen er nicht zu übersehen vermag. Beseitigt man die äußeren störenden Einflüsse durch geeignete Aufstellung und Behandlung des Zeitmessers, so geben die noch „übrig bleibenden“ zufälligen Gangfehler eine Handhabe ab für die Beurteilung des „Maßes der Präzision“, mit welchem das Instrument arbeitet, resp. gearbeitet ist. So ist es bei allen Meßapparaten.

Wir kommen nun zu einer praktisch sehr wichtigen Sache, zur Definition des mittleren Ganges. Dieser Begriff dürfte sich am leichtesten an der Hand eines Beispiels klarlegen lassen. Beseht den Fall, jemand sei im Besitze einer genügend kompensierten, guten Uhr mit einwandfreier Hemmung; durch Vergleich mit einer Normaluhr mögen sich folgende Stände ergeben haben:

8. Nov.	17. Nov.	26. Nov.	1. Dez.	8. Dez.	15. Dez.
± 0	$+ 5$	$+ 2$	$+ 3,5$	$+ 2,8$	$+ 11^{\text{sek.}^*)}$

*) Die im Text angegebenen Zahlen sind an einer erstklassigen Präzisionsastrolochische von A. Lange und Söhne beobachtet worden.

Am 25. Dezember legt sich der Besitzer die Frage vor, wie groß wohl jetzt der Stand sein möge. Er trägt die beobachteten Stände nach der in Fig. 45 angegebenen Art graphisch auf; der gebrochene Linienzug AB gibt nun ein ungefähres Bild von dem Gange der Uhr innerhalb der 37 tägigen Beobachtungszeit, ohne jedoch einen direkten Schluß auf die Sachlage am 25. Dezember zuzulassen. Legt man sich durch die Reihe der Punkte nach Augenmaß eine Gerade MM dergestalt hindurch, daß sie der Lage der Sackzacklinie möglichst nahe kommt, so kann man sie mit einer gewissen Berechtigung als den „mittleren Stand“ des Zeitmessers

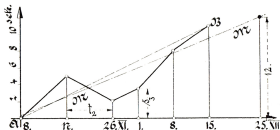


Fig. 45. Stand-Sackzacklinie.

während der Beobachtungsperiode ansprechen. Durch Verlängerung der Linie nach rechts bekommt man nun aber den mutmaßlichen Stand für die Zukunft, man „extrapoliert“, wie der Mathematiker sagt. Da wir nichts Besseres haben, so betrachten wir diesen wahrscheinlichen Stand als den wirklichen und konstatieren aus der Zeichnung, daß die Uhr am 25. Dezember 12 Sek. nachgeht, eine Vermutung, die nachträglich durch die Beobachtung nahezu bestätigt wurde. — Die Neigung von MM gegen die Horizontale gibt uns weiter den „mittleren Gang“ von $+0,25$ Sek. pro Tag, den wir eventuell durch Betätigen der Reguliervorrichtung zu beseitigen haben.

Jeder Mensch vollzieht tagtäglich halb unbewußt und in roher Form Überlegungen, die den obigen analog sind, sobald er nur nach der Uhr sieht; einer solchen Ablesung haftet eben immer eine gewisse Unsicherheit an, die um so größer wird, je primitiver das Uhrwerk ist. Der Zeitmesser ist sozusagen ein schlecht ge-

fenertes Schiff, das bald nach rechts und bald nach links vom Kurse abweicht und deshalb ab und zu durch astronomische Messungen kontrolliert werden muß.

Die Fehlertheorie, beziehungsweise die Methode der kleinsten Quadrate bietet eine Reihe von Handhaben zur genaueren Bestimmung des mittleren Ganges auf Grund gewisser Annahmen; so liefert sie z. B. mit Hilfe der Formel

$$g_m = \frac{l_1 \cdot (s_1 - s_0) + l_2 \cdot (s_2 - s_1) + \dots + (l_1 + l_2) \cdot (s_2 - s_0)}{l_1^2 + l_2^2 + \dots + (l_1 + l_2)^2 + (l_2 + l_3)^2 + \dots + (l_1 + l_3) \cdot (s_3 - s_1) + \dots + \Sigma l \cdot (s_n - s_0) + (l_1 + l_2 + l_3)^2 + \dots + (\Sigma l)^2}$$

denjenigen mittleren Gang, für den die Summe der Quadrate aller Standabweichungen ein Minimum wird (in unserem Falle ist

$g_m = 0,25$); Zähler und Nenner haben je $\frac{m \cdot (m-1)}{1 \cdot 2}$ Glieder bei m

Beobachtungen. — Verbindet man ferner in der Fig. einfach die beiden Endstände, so erhält man eine Gerade AB , welche denjenigen mittleren Gang darstellt, auf den bezogen die Summe der Quadrate aller Gangabweichungen einen kleinsten Wert annimmt (in unserem Falle $g'_m = 0,8$). Die Methode hat den Nachteil, daß sie eben nur die Endstände berücksichtigt.

Derartige Untersuchungen haben aber bloß dann Sinn, wenn die auf das Konto äußerer Einflüsse zu setzenden Störungen ferngehalten, kompensiert oder aber rechnerisch eliminiert sind. Es ist nicht überflüssig, hierauf hinzuweisen.

Die einfachste und bequemste Art, den mittleren Gang und zugleich die durchschnittliche tägliche Variation (richtiger gesagt die durchschnittliche tägliche Abweichung vom mittleren Gange) zu errechnen, ergibt sich aus folgender Tabelle. Auf die verschiedenen großen Intervalle zwischen den Einzelbeobachtungen ist dabei keine Rücksicht genommen, ein Verfahren, dessen Berechnung sich theoretisch unschwer dartun läßt.

Datum	Stand	Tägl. Gang	Mittl. Gang minus tägl. Gang
8. Nov.	+ 0		
17. "	+ 5	+ 0,56	— 0,24
26. "	+ 2	— 0,33	+ 0,65
1. Dez.	+ 3,5	+ 0,80	+ 0,02
8. "	+ 8	+ 0,64	— 0,32
15. "	+ 11	+ 0,43	— 0,11
		Σa: + 1,60	Σa: 1,34

$$\left[\begin{array}{l} \text{Mittlerer täglicher Gang: } + \frac{1,60}{5} = + 0,32^{\text{sek.}} \\ \text{Mittlere tägliche Variation: } \frac{1,34}{5} = 0,27^{\text{sek.}} \end{array} \right.$$

Die zweite Kolumne wird ohne Rücksicht auf die Vorzeichen summiert.

Endlich kann man den Wert

$$\frac{2}{3} \sqrt{\frac{0,24^2 + 0,65^2 + 0,02^2 + 0,32^2 + 0,11^2}{5}} = 0,23^{\text{sek.}}$$

nach der Fehlertheorie als „wahrscheinliche Gangabweichung“ auffassen, d. h. als diejenige Abweichung des Ganges vom mittleren Gange, die voraussichtlich ebenso oft über- wie unterschritten werden wird — so lange keine neuen Störungen auftreten. Auch dieser Ausdruck hat neben der Variation einen Anspruch darauf, als Wertmaßstab für die Güte des Instruments aufgefaßt zu werden.

Nun einige Worte über die Seenuhr oder das Chronometer, Fig. 46. Ein sehr genau gearbeitetes, in seiner Größe etwa die Mitte zwischen Taschenuhr und Wanduhr innehaltendes Werk ist in ein Metallgehäuse eingeschlossen, das durch Cardanische Ringe innerhalb eines Holzkästchens so aufgehängt ist, daß die horizontale Zifferblattlage jederzeit gewahrt bleibt. Der Antrieb erfolgt durch Feder und Schnecke; die Hemmung ist ein Chronometergang, die isochronische Unruhe gegen Temperaturen sorgfältig kompensiert und mit einer Schraubenspirale ohne Ruder versehen. Der großen Bedeutung entsprechend, die dem Instrument in der Schifffahrt zukommt, ist seine Technik hochentwickelt und die Gangleistungen sind hervorragende. Durch öffentliche Wettbewerbe und Prämiiierungen der nach bestimmten Grundsätzen geprüften und klassifizierten Apparate (vgl. das betreffende Regulativ der Abteilung IV der Deutschen Seewarte zu Hamburg) sucht der Staat die Industrie anzuapornen. So zeigte z. B. das beste der im Winter 1905/06 auf dem Wettbewerbe zu Hamburg preisgekrönten deutschen Chronometer, das von der Firma A. Lange und Söhne in Glashütte geliefert war, bei der Temperaturprüfung folgende durchschnittlichen Tagesgänge:

Bei	30°	25°	20°	15°	10°	5°
	+ 0,13	— 0,06	— 0,12	— 0,02	— 0,06	± 0,00 Sek.

Ist das Gesetz annähernd bekannt, nach welchem sich der Gang mit der Temperatur ändert, so kann man, wenn die mittleren Tagestemperaturen durch Beobachtung festgestellt worden sind, die Zeitangaben auch noch rechnerisch korrigieren. Diesem

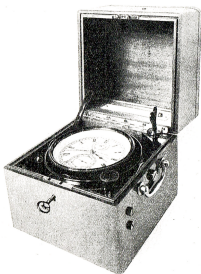


Fig. 44. Chronometer in Carbonisierter Kaffhänge. Nach Photographie.

Bedürfnis kommt z. B. die Deutsche Seewarte dadurch entgegen, daß sie aus den Gangbeobachtungen der Temperaturprüfung entsprechende mathematische Formeln ableitet.

Die Anschaffung eines Chronometers verbietet sich dem Privatmann im allgemeinen des hohen Preises wegen, der um 500 Mk.

herum liegt; rationeller ist für den, der auf präzise Zeitangaben einiges Gewicht legt, die Ausstattung eines guten Gewichtsregu-

lators mit einem Nickelstahlpendel und Einmontierung desselben in ein festes Gehäuse mit mehrfach verleimter Rückwand, obgleich hiermit die Genauigkeit einer Secuhr im allgemeinen nicht erreicht wird. Solche Pen-

deluhr verlangt aber einen durchaus festen und erschütterungsfreien Standort, eine Unannehmlichkeit, die man umgeht, wenn man sich zum Ankauf einer erschlässigen Anker-Taschenuhr entschließt. Verfasser stellte einmal bei einem derartigen Glashütter Werk, das schon mehrere Monate in Gebrauch war, während einer 56 tägigen Beobachtungsperiode eine mittlere tägliche Variation von nur 0,2 Sec. fest. Wenngleich derartige Glanzleistungen natürlich zu den Ausnahmen gehören und nur unter günstigen Umständen bei sorgfältiger Behandlung erreicht werden, so zeigen sie doch, daß die 200 bis 250 Mark, die man für ein solches Instrument im

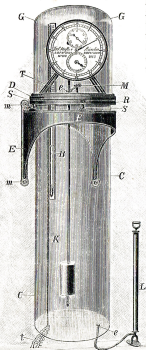


Fig. 47. Mikrometrische Uhr in luftdichtem Glasverschluß mit Nickelstahl-Pendel, freiem Niederhang, elektrischem Aufzug und Sekundenkontakt.

t Aufstellungsbrücke, *L* Luftpumpe, *R* Barometer und *M* Mikroskop zum Ablesen der Schwangweite. *w* Befestigungsschrauben.

Silbergehäuse etwa aufwenden muß, durchaus nicht wegge-
worfen sind.

Natürlich sind all diese Erfolge verschwindend gegenüber
dem, was heutzutage in bezug auf Genauigkeit in dem Gebiete
der astronomischen Pendeluhren geleistet wird.

Über der Nebenuhr der früher beschriebenen Uhrenanlage
im Deutschen Museum zu München befindet sich ein Schildchen mit
der Angabe, daß diese Uhr die mitteleuropäische Zeit stets mit einer
Genauigkeit von $\pm 0,2^{sek}$ anzeigt, obschon die astronomischen Zeit-
bestimmungen gelegentlich selbst Fehler bis zu 0,05 Sek. aufweisen.
Dies ist gewiß an sich schon Aufsehen erregend, aber es wird noch
erstaunlicher, wenn man hört, daß eine Einstellung der Uhr höch-
stens alle 8 bis 14 Tage notwendig ist. — Nach allseitigem Ur-
teil, dem auch die Amerikaner beipflichten, sind die Rieflerschen
Präzisionspendeluhren, zu denen auch jene gehört, augenblicklich
als die vollkommensten aller Zeitmesser zu betrachten (vgl. Fig. 47).
Von den Riefleruhren zu Cleveland und Petersburg wird ange-
geben, daß ihre mittlere tägliche Gangvariation den Wert von
acht Tausendstel Sek. nicht überschreitet. Hiermit ist man ungefähr
an der Grenze angelangt, wo bereits die feinsten Erderschütte-
rungen, wie sie als Ausläufer ferner Beben und nach Omori auch
bei Stürmen oft vorkommen, als Störung empfunden werden
müssen. Noch günstiger sind die Ergebnisse bei der Riefleruhr
des Königl. geodätischen Institutes zu Potsdam, welche zwar eine
Variation von 0,009 Sek. aufweist, dafür aber auch in einem
Raume steht, dessen Temperatur jährlich um 15° schwankt, während
jene beiden Uhren in Räumen von nahezu konstanter Temperatur
aufgestellt sind, die nur selten von Menschen betreten werden.
Welch eine Wandlung seit der vorgaliläischen Zeit, wo man noch
an einem täglichen Gang von $\frac{3}{4}$ Stunden keinen sonderlichen
Anstoß nahm! Früher mühten sich Könige vergeblich um die Uhr,
und jetzt ist der Zeitmesser der König der Präzisionsinstrumente.