

Die Äquatorneigungen der Sonne und Planeten.

Von Hans Lorenz in München.

1. Der Sonnenäquator. Alle im Sonnensystem vereinigten Körper besitzen vermöge ihrer Eigendrehung und des Umlaufs um ihre Zentralkörper Momente der Bewegungsgröße, sog. Drallwerte, deren Vektorsumme infolge des Wegfalls bzw. des vernachlässigbaren Einflusses äußerer Kräfte eine durch den Systemschwerpunkt gehende invariable oder Hauptebene bestimmt. Da die Gesamtmasse aller Planeten und Monde etwa nur 1:750 der Sonnenmasse beträgt, wovon auf den Jupiter allein 1:1050, also etwas mehr als $\frac{2}{3}$, auf den Saturn mit 1:3500, also $\frac{2}{9}$ dieses Bruches entfallen, so liegt der Gesamtschwerpunkt dicht bei der Sonnenmitte, während die invariable Ebene zwischen den Bahnen dieser beiden Hauptplaneten, und zwar näher der des Jupiter, sich erstreckt. Wir bezeichnen mit m_0 und m die Massen der Sonne und eines Planeten, mit r_0 und r den Sonnenradius und den mittleren Planetenfahrstrahl, mit u_0 und u die Umfangs- bzw. Umlaufgeschwindigkeit dieser Körper, mit i_0 und i die Neigung des Sonnenäquators und der Planetenbahn gegen die Hauptebene, sowie mit Ω_0 und Ω deren Knotenlängen auf den einzelnen Bahnebenen, gerechnet vom Frühlingspunkt 1850 der Erdbahn. Alsdann bestehen unter vorläufiger Vernachlässigung der gegenüber den Bahndrallwerten verschwindenden Eigendralle der Planeten mit ihren Begleitern die für den Drallausgleich in der Hauptebene und damit für die Stabilität des ganzen Systems maßgebenden beiden Gleichungen

$$\begin{aligned} \alpha_0^2 m_0 r_0 u_0 \sin i_0 \cos \Omega_0 + \sum m r u \sin i \cos \Omega &= 0 \\ \alpha_0^2 m_0 r_0 u_0 \sin i_0 \sin \Omega_0 + \sum m r u \sin i \sin \Omega &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Darin ist α_0 das Verhältnis des Trägheitsarmes der Sonne zu ihrem Halbmesser; außerdem können wegen der geringen Bahnneigungen der Planeten innerhalb der Summe unbedenklich die $\sin i$ mit den Bogenwerten i vertauscht werden. Sind die Lage der Hauptebene und alle Neigungen i einschließlich i_0 des Sonnenäquators bekannt, so ergeben sich aus (1) dessen Knotenlänge Ω_0 und mit α_0^2 das Trägheitsmoment bzw. der Trägheitsarm der Sonne.

Mit den Tafelwerten von STOCKWELL für i und Ω der Planetenbahnen und der Hauptebene (vgl. CHARLIER: Mechanik des Himmels, Bd. 1, 1927, S. 393) erhalten wir alsdann für die Sonne mit

$$\alpha_0^2 \cos \Omega_0 = 0,144 \quad \alpha_0^2 \sin \Omega_0 = 0,0466,$$

$$\text{also} \quad \alpha_0^2 = 0,151 \quad \Omega_0 = 18^\circ.$$

Diesem Werte würde der Trägheitsarm $\alpha_0 r_0 = 0,389 r_0$ und nach der empirischen Formel

$$(0,4 - \alpha^2)(k - 0,707) = 0,2066 \quad (2)$$

der Polytropenexponent $\kappa = 1 + \frac{1}{n} = 1,537$, also eine Zustandsgleichung der Klasse $n = 1,86$ und nach Interpolation der Tabelle 13 in EMDENS Gaskugeln S. 84 ein Dichteverhältnis $\delta_0 : \delta_m = 9,9$ entsprechen. Demgegenüber haben wir gute Gründe, mit

RITTER, LANE und EDDINGTON der Sonne eine der homogenen Formänderung genügende Zustandspolytrope $\kappa=1,33$ von der Klasse $n=3$ zuzuschreiben, der alsdann ein Wert $\alpha_0^2=0,07$ mit dem Trägheitsarm $\alpha_0 r_0=0,265 r_0$ und dem Dichteverhältnis $\delta_0:\delta_m=54,3$ entspricht. Mit dem daraus folgenden um mehr als die Hälfte kleineren Trägheitsmoment der Sonne wären alsdann die Elemente der Hauptebene neu zu berechnen, was anscheinend bisher unterblieben ist.

Jedenfalls geht aus den Formeln (1), die nichts als den Flächensatz der Mechanik darstellen, hervor, daß die Äquatorneigung der Sonne auf dem Drallausgleich mit den Neigungen der Planetenbahnen beruht, von denen die großen äußeren mit ihrem den Sonnendrall weit übertreffenden einen überwiegenden Einfluß besitzen. Läßt man die Abschleuderungstheorie gelten, so hat sich die Äquatorneigung der Sonne erst mit und nach der Ablösung der Hauptplaneten Saturn und Jupiter allmählich entwickelt. Die Planetoiden und kleinen inneren Planeten sind dagegen schon dem geneigten Sonnenäquator, allerdings bei erheblich größeren Abmessungen, entsprungen und mit Ausnahme des zuletzt abgeschleuderten Merkur unter Drallausgleich mit den großen Hauptplaneten in ihre Bahnen mit den gegenwärtigen Neigungen übergegangen.

2. Der Erdäquator und Erdmond. Während in die Formeln (1) die einzelnen Planeten mit ihrem Eigendrall und dem ihrer Monde eingehen, auch wenn ihr Einfluß auf den Gesamtdrall verschwindend ist und bei der Berechnung der Elemente der Hauptebene vernachlässigt werden darf, so findet doch auch innerhalb dieser Gruppen ein Drallausgleich statt. Besonders einfach gestaltet sich dieser Ausgleich an der Erde und dem Mond, für welche die Ekliptik mit der Äquatorneigung $i=23^\circ 27'$ und der mittleren Mondbahnneigung $i=5^\circ 8'$ die Stelle der Hauptebene vertritt. Die Knotenlängen Ω_0 und Ω spielen hierbei keine Rolle, da sie infolge der Präzession der Erdachse und der Mondbahn sich dauernd, und zwar periodisch, ändern.

Daher vereinfacht sich der Flächensatz in

$$\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0 \sin i_0 = m r u \sin i, \quad (3)$$

worin a_0 , u_0 den Halbmesser und die Umfangsgeschwindigkeit der Erde, dagegen r , u die Mittelwerte des Abstandes und der Bahngeschwindigkeit des Mondes bedeuten. Daraus folgt aber sogleich das Drallverhältnis

$$\frac{m r u}{\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0} = \frac{\sin i_0}{\sin i} = \frac{0,399}{0,09} = 4,43 \quad (3a)$$

und weiter mit

$$\frac{m_0}{m} = 81, \quad \frac{r}{a_0} = 60, \quad \frac{u}{u_0} = 2,23, \quad \text{also } \alpha_0^2 = 0,373$$

für den Trägheitsarm k des Erdballs sowie für den Radius r der in Bezug auf die Eigendrehung gleichwertigen Vollkugel

$$k = \alpha_0 a_0 = 0,61 a_0, \quad r_a = a_0 \sqrt{\frac{0,373}{0,4}} = 0,962 a_0.$$

Nehmen wir nun den Erdkern gegenüber der nur dünnen, auf der Außenseite festen, innen aber flüssigen Kruste als gasförmig an, so entspricht dem Werte $\alpha_0^2=0,37$ nach Gl. (1) ein Exponent der Polytrope $\kappa=1+\frac{1}{n}=8,36$ von der Klasse $n=0,136$ mit einem nach EMDENS Tafel a. a. O. interpolierten Dichteverhältnis gleich 1,22. Da ferner mit $\delta_m=5,52 \text{ g cm}^{-3}$, also $\delta_0=6,77 \text{ g cm}^{-3}$, und der Außendichte $\delta_a=2,76$ für $r=a_0$ nahezu $\delta_m:\delta_a=2$ wird, so erhalten wir $\delta_0:\delta_a=2,44$ und in dem Ansatz für die Dichteänderung

$$\frac{\delta}{\delta_0} = 1 - \left(1 - \frac{\delta_a}{\delta_0}\right) \left(\frac{r}{a_0}\right)^v \quad (4)$$

mit

$$\delta_m \alpha_0^2 = 3 \int_0^{a_0} \delta r^2 dr \quad (5)$$

nach Einsetzen

$$\frac{\delta_m}{\delta_0} = 1 - \frac{3}{v+3} \left(1 - \frac{\delta_a}{\delta_0}\right) \quad (5a)$$

und mit den vorstehenden Werten $\nu=6,83$. Damit ist die Dichteänderung der Erde gegeben durch die einfache Formel

$$\frac{\delta}{\delta_0} = 1 - 0,59 \left(\frac{r}{a_0} \right)^{6,83}, \quad (5b)$$

während sich der Druck und die Temperatur mit $\kappa=8,36$ nach

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^{8,36}, \quad \frac{T}{T_0} = \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^{7,36} \quad (6)$$

berechnen. Da nun bei der mittleren geothermischen Tiefenstufe 1^0 auf 40 m oder $25^0/\text{km}$ in der Tiefe von 200 km eine Temperatur von $t \approx 5000^0$, also absolut $T = 5300^0\text{K}$, erreicht ist, der etwa eine Dichte $\delta_1 = 0,5 \delta_a = 3,38 \text{ g cm}^{-3}$ entspricht, so dürfen wir die mittlere Dichte der festflüssigen Oberflächenschicht von $h=200 \text{ km}$ Dicke auf $\frac{1}{2}(\delta_a + \delta_1) = 3,07 \text{ g cm}^{-3}$ abschätzen. Damit erhalten wir einen Druck $p = 60000 \text{ kg cm}^{-2}$ auf der Unterseite dieser Schicht mit dem Übergang in den Gaskern, für den wiederum die Polytropengleichungen (6) gelten. Diese liefern nach Einsetzen der vorstehenden Werte für den Druck und die absolute Temperatur im Erdmittelpunkt

$$p_0 = p_1 \left(\frac{\delta_a}{\delta_1} \right)^{8,36} = 6 \cdot 10^4 \cdot 2^{8,36} = 1,97 \cdot 10^7 \text{ kg cm}^{-2},$$

$$T_0 = T_1 \left(\frac{\delta_a}{\delta_1} \right)^{7,36} = 5300 \cdot 2^{7,36} = 870000^0 \text{ K}.$$

Man erkennt daraus, daß die Temperatursteigerung im Gaskern einen rund 10mal so hohen Druck bedingt als der rein hydrostatische von etwa $2 \cdot 10^6 \text{ kg cm}^{-2}$, entsprechend der mittleren Dichte $\delta_m = 5,52 \text{ g cm}^{-3}$ einer Flüssigkeitskugel von den Abmessungen des Erdballs.

Schließlich sei noch bemerkt, daß sich der auf der Erdbahnebene normale Vektor des Gesamtdralls von Erde und Mond zu

$$\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0 \left(\cos i_0 + \frac{m r u}{\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0} \cos i \right) = 5,33 \cdot \alpha_0^2 m_0 a_0 u_0 \quad (7)$$

berechnet und daß beide Körper getrennt voneinander und nahezu gleichzeitig der Sonne entsprungen sind, wonach die gegen die Planetenbahnebene gleich anfangs geneigte Mondbahn die Äquatorneigung der Erde erzwungen hat.

Die Bedeutung der vorstehenden Theorie liegt zunächst in der Bestimmung des Trägheitsmoments der Erde um die Polachse, die bisher auf keinem anderen Wege möglich war, während man z. B. aus der Präzession nur das Verhältnis der beiden Hauptträgheitsmomente zu $1 - \frac{1}{305} = 0,9967$ und aus Mondstörungen deren Unterschied zu 0,0011 gegenüber $0,0012 \alpha_0^2$ mit $\alpha_0^2 = 0,373$ berechnen und damit angenähert die Abplattung bestimmen konnte¹. Weiterhin aber erlaubte die Kenntnis des Trägheitsmomentes Schlüsse auf die Massenverteilung und den Gaszustand des Erdinnern, womit wohl die unter Geophysikern und Geologen ziemlich allgemein verbreitete Lehre vom feuerflüssigen oder gar festen Erdkern aus Nickeleisen und anderen Schwermetallen mit einer hierzu nicht überschreitbaren und vom Zentralabstand unabhängigen Kerntemperatur von 5000^0 bis 6000^0 erledigt sein dürfte. Die aus der Geschwindigkeit der das Erdinnere durchlaufenden longitudinalen Erdbebenwellen folgende Starrheit des Erdkerns ist auch für Gase nur eine Folge der mit der Temperatur und dem Druck enorm ansteigenden Zähigkeit und steht mit den neuesten Forschungen von BRIDGEMAN im besten Einklang².

3. Der Neptunäquator und Neptunmond. Wie die Erde, so besitzt auch der Neptun nur einen Begleiter von beträchtlichen Abmessungen, der ihn im Gegensatz zu den drei anderen großen Planeten und dem Mars nicht in der Äquatorebene umkreist. Von diesen unterscheidet sich die Neptungruppe auch noch durch den

¹ Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften Bd. 6, 2 A, S. 862.

² F. HUND: Übersicht über das Verhalten der Materie bei sehr hohen Drücken und Temperaturen. Physik. Z. 37, 853 (1936).

entgegengesetzten Drehsinn des Mondumlaufs gegen die Planetenrotation, der einen inneren Drallausgleich aber nicht ausschließt. Für diesen gilt alsdann wieder unsere Gl. (2), aus der mit der Neigung $i_0 = 29^\circ$ des Äquators und $i = 40^\circ 10'$ der Mondbahnebene gegen die Planetenbahn

$$\frac{\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0}{m r a} = \frac{\sin i}{\sin i_0} = \frac{0,645}{0,485} = 1,35 \quad (3b)$$

folgt, so daß also gegenüber der Erdmondgruppe hier der Planetendrall den Mondbahndrall übertrifft. Nun kennen wir weiter die Drehdauer und den Äquatorhalbmesser des Neptun sowie die Umlaufzeit und den mittleren Abstand des Mondes, außerdem aber wegen der nur photometrischen Bestimmung ziemlich ungenau dessen Halbmesser $a_1 = 2500$ km oder etwa 0,1 des Planetenradius, aber nicht die Mondmasse selbst. Mit den Verhältnissen

$$\frac{r}{a_0} = 13,32, \quad \frac{u}{u_0} = 1,56, \quad \frac{a_0}{a_1} = 10$$

folgt alsdann aus (3b) unter gleichzeitiger Einführung der mittleren Dichte beider Körper

$$\alpha_0^2 \frac{m_0}{m} = \alpha_0^2 \frac{\delta_0}{\delta} \frac{a_0^3}{a^3} = 28; \quad \alpha_0^2 \frac{\delta_0}{\delta} = 0,028. \quad (3c)$$

Hierin können wir für α_0^2 als untere Grenze den Sonnenwert 0,07, als obere dagegen den Betrag 0,4 angeben, welcher einer homogenen Vollkugel zukommt, so daß

$$0,07 < \alpha_0^2 = 0,028 \frac{\delta}{\delta_0} < 0,4$$

oder

$$2,5 < \frac{\delta}{\delta_0} < 14,3 \quad (8)$$

wird. Da ferner für den Neptun selbst $\delta_0 = 1,18 \text{ g cm}^{-3}$ ist, so ist die Monddichte in die Grenzen

$$3,95 < \delta < 22,6 \quad (8a)$$

eingeschlossen, von denen der obere Wert ohne jedes Beispiel im Sonnensystem gar nicht in Frage kommt. Dagegen stimmt der untere Grenzwert genau mit der Dichte des Planeten Mars überein, dessen Halbmesser 3380 km jedenfalls gleiche Größenordnung mit dem Neptunmond hat. Halten wir darum die untere Grenze von (8a) als wahrscheinlichsten Wert fest, so gilt für den Neptun der einer Polytropen $p = C\delta^{\frac{4}{3}}$ zugeordnete Sonnenbeiwert $\alpha_0^2 = 0,07$ und ein Massenverhältnis zum Monde $m_0 : m = 400$, gegenüber 81 für die Erde und ihren Mond.

Da wie schon bemerkt der Neptun eine seinem Bahnlauf entgegengesetzte Eigendrehung besitzt, während sein Mond rechtläufig ist, so ergibt sich der auf der Neptunbahnebene normale Gesamtdrall dieser Gruppe mit den Neigungswinkeln i_0 und i zu

$$\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0 \left(\frac{m r u}{\alpha_0^2 m_0 a_0 u_0} \cos i - \cos i_0 \right) = -0,315 \alpha_0^2 m_0 a_0 u_0. \quad (9)$$

Damit ist natürlich eine Abschleuderung des Neptunmondes vom Planeten ausgeschlossen, also wie schon bei der Erdmondgruppe ein nahezu gleichzeitiger Ursprung aus der Sonne geboten, wobei der etwa zwischen der Sonnenoberfläche und der schon abgetrennten Planetenmasse aus der gemeinsamen Flutwelle entstandene Mond dem Planeten die seinem Bahnlauf und der Sonnendrehung entgegengesetzte Rotation aufgezwungen hat.

4. Die Äquatorneigung der übrigen Planeten. Im Gegensatz zur Erde und zum Neptun bewegen sich die größeren Monde der anderen Außenplaneten einschließlich des Saturnringes fast genau in den geneigten Äquatorebenen ihrer Zentralkörper und gleichsinnig mit deren Eigendrehung, was aber auf ihre Entstehung durch Abschleuderung hindeutet und einen Drallausgleich im Sinne der Gl. (3) ausschließt. Die äußeren Monde von Jupiter und Saturn mit gegen den Äquator geneigten exzentrischen Bahnen sind gegenüber dem Inneren so massearm, daß sie auf den Gesamtdrall keinen merkbaren Einfluß ausüben. Dieser erscheint vielmehr vom Bahndrall des Planeten getrennt auch auf der rechten Seite der Gl. (1), d. h. als Bestandteil der

Drall-Vektorsumme aller die Sonne umkreisenden Begleiter. Eine Aussonderung der Eigendralle der Planeten mit ihren Monden, die wegen ihrer Kleinheit gegenüber den Bahndrallwerten nur als Korrektionsglieder auftreten, ist nicht möglich. Wir müssen uns daher vorläufig mit der Tatsache abfinden, daß auch die einzelnen Eigendralle der Planeten mit ihren gemeinsamen Äquator- und Mondbahnneigungen durch die Bahnneigungen aller Planeten und des Sonnenäquators gegen die Hauptebene mitbestimmt sind. Die Entstehung der Äquatorneigung von Mars, Jupiter, Saturn und Uranus ist damit allerdings nicht erklärt. Es scheint, daß hierbei radiale Drallvektoren von Sonnenwirbeln, wie wir sie an den Flecken beobachten, bei der Ablösung der Planeten um so stärker mitgewirkt haben, je kleiner die mit der Eigenrotation der Sonne abgeschleuderten Massen waren. Damit wäre die kleine Äquatorneigung des Jupiter und deren Zunahme über den Saturn bis zum Uranus verständlich, bei dem der Radialdrall fast ausschließlich die Eigendrehung bedingt, ohne daß es möglich ist, diese turbulenten Vorgänge rechnerisch zu verfolgen.

Dagegen dürfen wir aus den bekannten, von der Sonne bis auf den noch viel leichteren Saturn wenig abweichenden Dichten der Außenplaneten nach Analogie des Neptun auf einen mit dem Zentralkörper nahezu übereinstimmenden Zustand, also auf Gasbälle mit innerem Schwere- und Strahlungsgleichgewicht nach der Polytrope $p = C\delta^{\frac{1}{2}}$ schließen. Der Gaszustand erstreckt sich im Gegensatz zu den inneren Planeten einschließlich der Erde, aber in Übereinstimmung mit der Sonne bis zur Oberfläche, deren Temperatur allerdings mit Sicherheit als so tief anzunehmen ist, daß in den Planetenatmosphären schon Verbindungen von C, H und N auftreten, während die umkehrende Schicht der Sonnenhülle erst bis zur Atombildung zahlreicher Elemente fortgeschritten ist. Den Sonnenflecken entsprechen ebenso unbeständige Wolkenbildungen in den Planetenhüllen, aus deren Bewegung, wenigstens für Jupiter und Saturn, sich eine ähnliche Abnahme der Eigendrehung vom Äquator bis zu den Polen wie an der Sonne ergibt, was wiederum für die Übereinstimmung der Zustände spricht.

Kleine Mitteilungen.

Über die Variation des Mondbahndurchmessers.

Von H. Bock in Hamburg.

Neuerdings kann man oft die Behauptung lesen, der Mond nähere sich der Erde immer mehr und werde schließlich auf sie stürzen; mehreren seiner „Vorgänger“ sei bereits ein ähnliches Geschick beschieden gewesen. Obwohl die Variationen der Bahnelemente des Mondes in der theoretischen Astronomie nach allen Richtungen eingehend studiert sind, wird es sich jener Behauptungen wegen doch lohnen, die Frage noch einmal mit ganz einfachen Mitteln approximativ zu behandeln.

Wir idealisieren die Sachlage: Das Paar Erde-Mond sei ein abgeschlossenes Zweikörpersystem; der Erdmittelpunkt werde der überragenden Masse wegen als feststehend vorgestellt, und die Mondbahn sei ein Kreis.

Erste Lösung: Durch die Flutreibung wird auf die Erdkugel ein verzögerndes und auf den umlaufenden Mond ein gleich großes beschleunigendes Moment ausgeübt, das in Fig. 1 durch die relativ kleine Kraft $\varepsilon \cdot K$ dargestellt wird, worin K die Anziehungskraft ist. Wir schreiben die Bewegungsgleichungen des Mondes hin. Dynamisches Gleichgewicht in radialer Richtung:

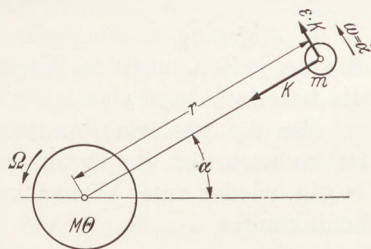


Fig. 1. Koordinaten von m und angreifende Kräfte.

$$\ddot{r} - r \cdot \dot{\alpha}^2 + k \cdot \frac{M}{r^2} = 0. \quad (1)$$

Das erste Glied ist der radiale Trägheitswiderstand, das zweite die Zentrifugalkraft und das dritte die Wirkung der Gravitation. k bedeutet die GAUSSSCHE Konstante. Dasselbe in tangentialer Richtung:

$$r \cdot \ddot{\alpha} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\alpha} - \varepsilon \cdot k \cdot \frac{M}{r^2} = 0. \quad (2)$$

Am Anfang steht der tangentielle Trägheitswiderstand, dann kommt die Coriolis- und zuletzt die Störungskraft. Die Beschleunigungen bzw. die Trägheitskräfte lassen sich synthetisch wie folgt ablesen (vgl. Fig. 2): Unter a) sehen wir die Geschwindigkeiten vor und nach der Zeit dt und unter b) ihre Zuwüchse in vergrößertem Maßstabe;

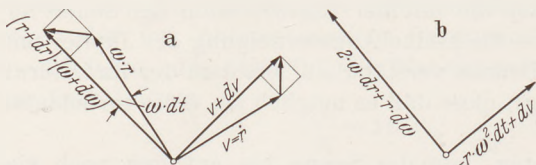


Fig. 2. Geschwindigkeiten von m und deren Zuwüchse.

durch Division mit dt ergeben sich die Beschleunigungen. Oft werden solche Bewegungsgleichungen mit Hilfe von Variationsprinzipien od. dgl. abgeleitet, aber das ist unanschaulich und im Grunde nur eine Art Eselsbrücke.

Wegen der Kleinheit von ε ändert sich r nur sehr langsam; wir dürfen daher $\ddot{r}$ für eine hinreichend kurze Zeit gleich Null setzen, womit $r(t)$ linear wird. Setzt man nun $\ddot{\alpha}$ aus (1) in (2) ein, so ergibt sich die Differentialgleichung:

$$\frac{dr}{dt} = 2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{k \cdot M}{r}} \sim 2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{k \cdot M}{r_0}}, \quad (3)$$

wodurch das Problem bereits gelöst ist. Der Mond entfernt sich also wegen der Flutreibung. Die Integration von (3) liefert:

$$r^{\frac{3}{2}} = r_0^{\frac{3}{2}} + 3 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k \cdot M} \cdot t. \quad (4)$$

Anmerkung. Wird einmal die Differenz der Winkelgeschwindigkeiten von Erdkugel und umlaufendem Monde verschwunden sein, so hört die Zunahme von r auf; stellt sich dagegen ein die Kraft $\varepsilon \cdot K$ überwiegender Bewegungswiderstand im kosmischen Raum ein, dann allerdings nähert sich der Mond seinem Zentralkörper, weil ε nunmehr negativ ist.

Zweite Lösung. Wenn wir das Trägheitsmoment der Mondkugel vernachlässigen, so liefert der Satz von der Konstanz des Impulsmomentes im abgeschlossenen System:

$$\Theta \cdot \Omega + m \cdot r^2 \cdot \omega = \text{const.} \quad (5)$$

Θ und Ω sind Trägheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Erdkugel. Weiter liefert der Energiesatz:

$$\frac{\Theta}{2} \cdot \Omega^2 + \frac{m}{2} \cdot r^2 \cdot \omega^2 - k \cdot \frac{M \cdot m}{r} = A - B \cdot t. \quad (6)$$

B ist diejenige mechanische Energie in $\text{m} \cdot \text{kg/s}$, die im System auf irgend eine Weise je Zeiteinheit in Wärme verwandelt wird. Die beiden ersten Glieder bedeuten die kinetische und das letzte die potentielle Energie.

Da die gestörte Mondbahn eine Spirale von außergewöhnlich geringer Steigung ist, so wird sich ihr Krümmungsmittelpunkt nie weit von der Erdmitte entfernen, und es gilt, wieder unter Vernachlässigung der radialen Beschleunigung, die Gleichgewichtsbedingung:

$$m \cdot r \cdot \omega^2 = k \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}. \quad (7)$$

Differenziert man die Gleichungen (5) bis (7) und eliminiert $d\omega$ und $d\Omega$, so kommt nach einigen Umformungen:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{2 \cdot B}{m \cdot r \cdot \omega (\Omega - \omega)}, \quad (8)$$

womit das Problem gelöst ist.

Vergleichung beider Lösungen. Die mit B bezeichnete Leistung hat offenbar gemäß Fig. 1 den Wert:

$$B = \varepsilon \cdot k \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \cdot r (\Omega - \omega). \quad (9)$$

Führt man diesen Ausdruck in (8) ein, so folgt mit Rücksicht auf (7) wieder:

$$\frac{dr}{dt} = 2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{k \cdot M}{r}}, \quad (10)$$

wie bei Lösung 1. Die Einführung von Zahlenwerten liefert:

$$\frac{dr}{dt} = 3,75 \cdot B \cdot 10^{-21} = 2,04 \cdot \varepsilon \cdot 10^3 \text{ m/s.} \quad (11)$$

Leider ist die Größe B nicht genau bekannt; vielleicht gelingt es einmal durch längere Kontrolle der Erddrehung mit Hilfe der Quarzuhr, hierin Wandel zu schaffen.

Der Einfluß des Höhenleitwerks auf die Stabilität eines Flugzeuges.

Von B. Brumann in Hamburg.

1. Kräfte und Moment. Die Kraftkomponenten am Flügel sind: Auftrieb $= A = c_a \cdot F \cdot q \perp$ Geschwindigkeit v , Widerstand $= W = c_w \cdot F \cdot q \parallel$ Geschwindigkeit v . Hierbei ist: Staudruck $= q = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g}$.

Die Beiwerte c_a und c_w werden abhängig vom Anstellwinkel α durch Versuche im Windkanal bestimmt, bezogen auf die Projektion F des Flügels.

2. Umrechnung auf flugzeugfeste Achsen. Die beiden Luftkräfte Widerstand und Auftrieb wirken in Flugrichtung bzw. senkrecht dazu. Bisweilen, insbesondere bei der Berechnung der statischen Stabilität, ist es zweckmäßig, flugzeugfeste Bezugsachsen zu wählen. Man zerlegt zu diesem Zweck die resultierende Luftkraft in zwei Komponenten parallel zur Flügelsehne und senkrecht dazu und kommt damit zur Tangential- und Normalkraft.

Die Umrechnung auf die neuen Bezugsachsen folgt nach Fig. 1:

$$\begin{aligned} N &= A \cdot \cos \alpha + W \cdot \sin \alpha \\ T &= W \cdot \cos \alpha - A \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad \text{vgl. Koordinatentransformation.}$$

Entsprechend ergeben sich die Beiwerte:

$$c_n = c_a \cdot \cos \alpha + c_w \cdot \sin \alpha, \quad c_t = c_w \cdot \cos \alpha - c_a \cdot \sin \alpha.$$

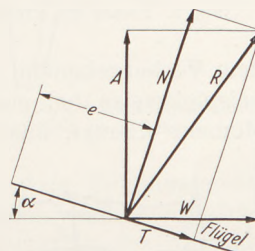


Fig. 1. Komponenten der Luftkraftresultierenden in zwei Koordinatensystemen.

3. Stabilitätsfrage. Der Angriffspunkt der Luftkraftresultierenden wandert nun bei einer Veränderung des Anstellwinkels der Tragfläche. Um die Lage des „Druckmittels“ für jeden Anstellwinkel zu ermitteln, wird beim Windkanalversuch neben dem bereits bekannten Auftrieb und Widerstand auch noch das Moment gemessen, das durch die Luftkraft um die Flügelnase ausgeübt wird. Ähnlich den Beiwerten c_a und c_w wird der Momentenbeiwert c_m auch als der Beiwert einer Kraft definiert, die am Hebelarm t (= Flügeltiefe) das Moment $M = c_m \cdot F \cdot q \cdot t$ ergibt.

In Fig. 2 sind die Beiwerte c_w und c_m in Abhängigkeit von c_a in Form einer „Polaren“ graphisch aufgetragen. Die entsprechenden Anstellwinkel sind dabei in die „Polare“ direkt eingetragen. Diese bereits von LILIENTHAL eingeführte Darstellungsweise ist auch heute noch allgemein gebräuchlich. Als Beispiel diene das amerikanische Profil NACA 2212 mit dem Seitenverhältnis 1:6.

Jetzt ist noch der Abstand des Druckmittels von der Flügelnase zu bestimmen. Bezeichnet man mit e den Abstand der Luftkraftresultierenden von der Flügelnase, so ist das Drehmoment der Luftkräfte: $M = e \cdot N = e \cdot c_n \cdot q \cdot F$. (vgl. Fig. 1).

Andererseits ist aber das Moment um die Flügelnase auch definiert als $M = c_m \cdot q \cdot F \cdot t$.

Aus diesen Gleichungen folgt: $e = \frac{c_m}{c_n} \cdot t$.

Betrachtet man das oben angezogene Profil NACA 2212 beispielsweise bei den Anstellwinkeln $\alpha = 0,9^\circ$ und andererseits $\alpha = 11^\circ$, so ergeben sich entsprechend die Druckpunktlagen zu: $e_1 = \frac{0,0825}{0,200182} \cdot t = 0,412 \cdot t$ und $e_2 = \frac{0,2750}{0,9926} \cdot t = 0,277 \cdot t$.

Bei einer mittleren Flügeltiefe von etwa 2 m würde also eine Druckpunktwanderung von rund 27 cm auftreten; das würde mit anderen Worten bedeuten, daß bei einem Fluggewicht von beispielsweise 1000 kg ein zusätzliches schwanzlastiges

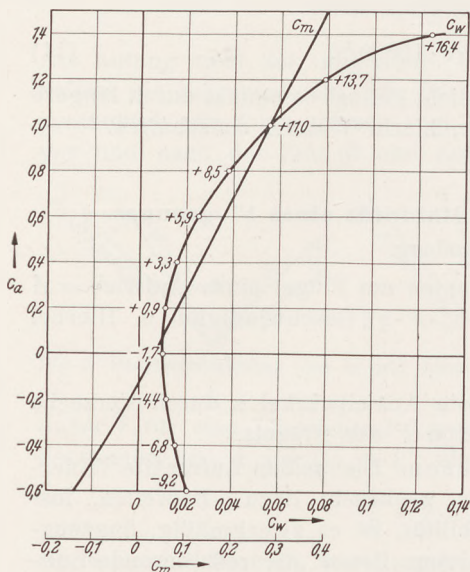


Fig. 2. Polare des Profils NACA 2212.

dem Vorhergehenden ersichtlich, ist es erforderlich, eine Vorrichtung anzubringen, die beispielsweise bei einer Anstellwinkelvergrößerung des Flugzeuges ein kopflastiges Moment erzeugt, das größer ist als das durch den Tragflügel bedingte schwanzlastige

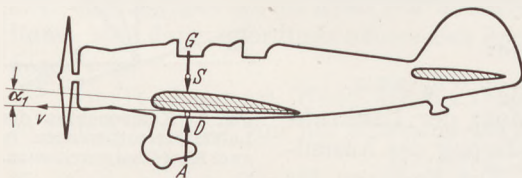


Fig. 3. Waagrechtflug ohne innere Momente.

Moment, oder zum mindesten diesem gleich ist. In dem letzten Falle würde sich das Flugzeug im indifferenten Gleichgewicht befinden. Dieser Flugzustand ist unter Umständen bei einem Kampf- oder Kunstflugzeug erwünscht. Bei einem Verkehrsflugzeug verlangt man eine derartige Stabilität, daß eine kleine Schwerpunktwan-

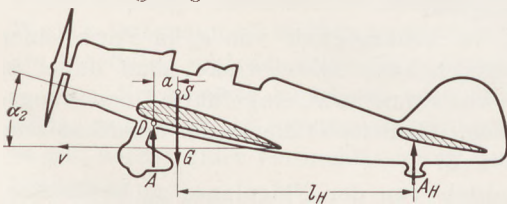


Fig. 4. Auftreten innerer Momente nach einer Störung.

derung, die z. B. durch einen Platzwechsel der Fluggäste eintreten kann, keinen Einfluß auf die Flugsicherheit hat. Die durch die große Stabilität bedingte Trägheit der Verkehrsflugzeuge wäre aber bei einem Kunstflugzeug nicht am Platze; denn man verlangt ja von diesen Flugzeugen, daß sie jeder noch so kleinen Steuerbewegung des Führers sofort folgen.

Zur Erzeugung des die Stabilität bedingenden Momentes dient nun das Höhenleitwerk oder, besser gesagt, die Höhenflosse, d. h. der vor dem eigentlichen Ruder liegende feststehende Teil des Höhenleitwerks, während die Ruder, auch Steuer genannt, dem Flugzeugführer die Möglichkeit geben, eine Änderung der Flugrichtung herbeizuführen.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten Waagrechtflug sei zunächst angenommen, daß Auftrieb und Gewicht dieselbe Angriffslinie haben und damit kein Moment ergeben. Diese Bedingung läßt sich erfüllen, denn es steht dem Konstrukteur ja frei, den Flügel entsprechend anzubringen. Ändert das Flugzeug jetzt aber seine Lage, z. B. durch eine Böe, d. h. vergrößert sich der Anstellwinkel des Flügels von α_1 auf α_2 , so wird

auch der Druckpunkt nach vorn wandern. Es würde also ein rechtsdrehendes bzw. schwanzlastiges Moment von der Größe $A \cdot a$ bzw. $G \cdot a$ auftreten, das in derselben Weise wie das Störungsmoment wirkt und damit die Störung noch weiter vergrößert und schließlich den Absturz des Flugzeuges bedingen würde, wenn nicht durch das kopflastige Moment des Höhenleitwerks das erste Moment wieder aufgehoben wird. Das Höhenleitwerk besitzt normalerweise ein symmetrisches Profil. Ein Auftrieb kommt nur dann zustande, wenn es unter einem bestimmten Anstellwinkel von der Luft angeblasen wird. Dieser Anstellwinkel ist durch die Lage des Flugzeuges bedingt; denn die Höhenflosse ist ja starr mit dem Rumpf verbunden. Die am Leitwerk auftretende Luftkraft A_H (Fig. 4) wirkt am Hebelarm l_H und erzeugt somit das Moment $A_H \cdot l_H$, welches größer sein muß als $A \cdot a$, wenn es das Flugzeug in seine alte Lage zurückbringen soll. In diesem Falle wäre das Flugzeug stabil. Sind die beiden Momente dagegen gleich groß, dann wird das Flugzeug in jeder neuen Lage beharren, es befindet sich im indifferenten Gleichgewicht, der geringste Steuerausschlag kann dem Flugzeug eine neue Lage geben.

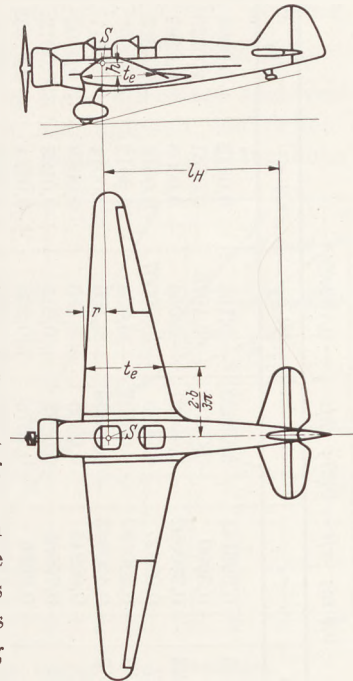


Fig. 5. Übersichtszeichnung eines zweisitzigen Sportflugzeuges.

4. Stabilitätsrechnung: Flügelmoment. Im folgenden soll nun eine Übersicht über die Rechnungsgänge bei einer normalen Stabilitätsrechnung gegeben und das Kriterium der Stabilität besprochen werden. Wie bereits aus dem Vorhergehenden ersichtlich, ist bei einem Flugzeug dann Längsstabilität vorhanden, wenn bei einer Anstellwinkelvergrößerung ein kopflastiges, dagegen bei einer Anstellwinkelverkleinerung ein schwanzlastiges Moment auftritt. Dieses Gesamtmoment setzt sich dabei zusammen aus dem Flügelmoment und dem Moment des Höhenleitwerks. Man kann also so vorgehen, daß man beide Momente unabhängig voneinander berechnet und sie dann als Funktion des Anstellwinkels graphisch aufträgt. Beide Momente sind dabei natürlich auf den Gesamtschwerpunkt des Flugzeuges zu beziehen.

Am einfachsten läßt sich diese Rechnung wohl an einem praktischen Beispiel zeigen. Für das in Fig. 5 dargestellte Sportflugzeug soll deshalb eine kurze Stabilitätsrechnung durchgeführt werden.

Die Daten des Flugzeuges seien folgende:

Flügelfläche	17 m ²
Spannweite	11,57 m
Fläche des Höhenleitwerks	2,7 m ²
Fläche des Höhenruders	1,0 m ²
Spannweite des Höhenleitwerks	3,2 m.

Schwerpunktrücklage: $r = 0,5$ m,

Schwerpunkthochlage: $h = -0,3$ m.

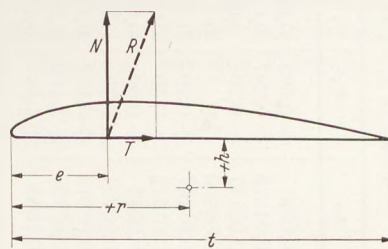


Fig. 6. Umrechnung des Flügelmomentes auf den Flugzeugschwerpunkt.

Zunächst ist das Moment des Flügels um den Schwerpunkt des Flugzeuges zu berechnen. Nach Fig. 6 ergibt sich das Flügelmoment

$$M = -N \cdot (r - e) - T \cdot h = -c_n \cdot q \cdot F \cdot (r - c_m/c_n \cdot t) - c_t \cdot q \cdot F \cdot h \\ = q \cdot F \cdot (-c_n \cdot r + t \cdot c_m - c_t \cdot h) = q \cdot F \cdot t \cdot (c_m - r/t \cdot c_n - h/t \cdot c_t).$$

Die Größen r/t und h/t bezeichnet man als Schwerpunktrücklage bzw. Schwerpunkthochlage. Sie geben dem Flugzeugkonstrukteur bereits beim Entwurf einen Anhaltspunkt für die zu erwartende Stabilität. Im allgemeinen liegt die Schwerpunktrücklage je nach Bauart des Flugzeuges zwischen 20% und 40%. Neben der Stabilität spielen

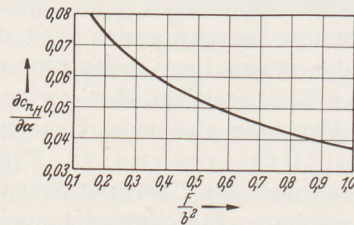
Tabelle 1. $t_e = 1,85 \text{ m}$; $r = 0,5 \text{ m}$; $h = -0,3 \text{ m}$; $r/t = 0,27$; $h/t = -0,162$.

α^*	c_m	c_n	c_{m0}	$c_n \cdot \cos \alpha$	$c_n \cdot \sin \alpha$	$c_{m0} \cdot \cos \alpha$	$c_{m0} \cdot \sin \alpha$	c_n	c_t	$r/t \cdot c_n$	$h/t \cdot c_t$	c_{mH}	M_{Fe}/q
9,2	-0,140	-0,6	0,0261	-0,592	0,09525	0,0260	-0,004145	-0,596145	-0,06925	-0,161	0,0112	0,0098	+0,31
6,8	-0,0645	-0,4	0,01673	-0,397	0,0479	0,0160	-0,0020	-0,3990	-0,0319	-0,1075	0,0051	0,0379	+1,19
4,4	-0,0145	-0,2	0,01117	-0,20	0,01598	0,01117	-0,000892	-0,200892	-0,00481	-0,054	0,0008	0,0387	+1,22
1,7	+0,0351	0	0,00900	0	0	0,0090	-0,00027	-0,00027	+0,0090	-0,00007	-0,0015	+0,0367	+1,15
0,9	+0,0825	+0,2	0,01067	+0,20	0,0034	0,01067	+0,000182	+0,200182	+0,00727	+0,054	-0,0012	+0,0297	+0,93
3,3	+0,1305	+0,4	0,01572	+0,40	0,0240	0,01572	+0,000943	+0,400943	-0,00828	+0,108	+0,0014	+0,0211	+0,66
5,9	+0,1790	+0,6	0,0245	+0,60	0,0599	0,0244	+0,00245	+0,60245	-0,0355	+0,163	+0,0058	+0,0102	+0,32
8,5	+0,2270	+0,8	0,03791	+0,79	0,1197	0,0375	+0,00566	+0,79566	-0,0822	+0,215	+0,0133	-0,0013	-0,04
11,0	+0,2750	+1,0	0,05515	+0,982	0,1920	0,0542	+0,0106	+0,9926	-0,1378	+0,268	+0,0224	-0,01538	-0,48
13,7	+0,3240	+1,2	0,07720	+1,165	0,2860	0,0750	+0,01837	+1,18337	-0,2110	+0,320	+0,0342	-0,0302	-0,95
16,4	+0,3790	+1,4	0,1044	+1,34	0,400	0,1002	+0,0298	+1,3698	-0,2998	+0,369	+0,0485	-0,0385	-1,21

* Die Werte dieser Spalte sind wegen der einfacheren Auftragung auf eine Dezimale abgerundet; die Winkelfunktionen dagegen sind mit den sich aus der Umrechnung der Polaren ergebenden genauen Werten gerechnet.

die Trudeleigenschaften für die Festlegung des Schwerpunktes noch eine große Rolle. Z. B. geht man bei einem Tiefdecker und einem Doppeldecker nicht gern über 30% Rücklage, während man bei einem Hochdecker durchschnittlich größere Rücklagen zulassen kann. Allgemeine Regeln lassen sich aber auch hier nicht geben, da vor allem die Form der Leitwerke, insbesondere des Seitenleitwerks, für die Trudeleigenschaften eine große Rolle spielt. Es würde zu weit führen, im Rahmen dieser Mitteilung auf diese Frage näher einzugehen.

Um von der Geschwindigkeit unabhängig zu sein, bezieht man das Flügelmoment auf die Einheit des Staudrucks, d. h. man dividiert die

Fig. 7. $\frac{\partial c_n}{\partial \alpha}$ als Funktion der Leitwerksstreckung.

zuletzt gefundene Gleichung durch q und erhält: $M/q = F \cdot t \cdot (c_m - r/t \cdot c_n - h/t \cdot c_t)$. Um den Einfluß der verschiedenen Flügelformen, insbesondere auch der Pfeil- und V-Stellung zu berücksichtigen, wählt man einen Flügelschnitt im Abstand $2b/3\pi$ von der Flugzeuglängsachse. Diese Stelle entspricht der Schwerpunktlage einer als elliptisch angenommenen Auftriebsverteilung für jede Flügelhälfte. Die Größen t , r und h werden dann zweckmäßig aus einer maßstäblichen Zeichnung abgegriffen.

In Tabelle 1 ist das Flügelmoment für einen normalen Anstellwinkelbereich bestimmt, und Fig. 8 bietet die zugehörige graphische Darstellung.

5. Leitwerksmoment. Zum Ausgleich des Flügelmomentes dient, wie bereits erwähnt, die verhältnismäßig kleine, dafür an einem langen Hebelarm wirkende Höhenleitwerkskraft. Hat das Leitwerk einen unsymmetrischen Querschnitt, wie es allerdings selten der Fall ist, so wird sein um den Flugzeugschwerpunkt drehendes Moment wie das eines kleinen Tragflügels berechnet. Normalerweise besitzen die Leitwerke aber symmetrischen Flügelschnitt. In diesem Fall befolgt das Moment $M_H = c_{nH} \cdot q \cdot F_H \cdot l_H$ im gebräuchlichen Flugbereich ein lineares Gesetz in Abhängigkeit vom Anstellwinkel. Da für

diese Profile die Normalkraft in Abhängigkeit vom Anstellwinkel durch den Nullpunkt geht, ergibt sich die Gleichung: $M_H/q = c_{nH} \cdot F_H \cdot l_H$ bei entsprechender Auftragung wie das Flügelmoment als Gerade durch den Koordinatenanfang. Die Neigung der Geraden ist für jeden beliebigen Punkt im normalen Anstellwinkelbereich gegeben durch die Beziehung: $\frac{\partial M/q}{\partial \alpha} = \frac{\partial c_{nH}}{\partial \alpha} \cdot F_H \cdot l_H$. In der Hauptsache ist $\frac{\partial c_{nH}}{\partial \alpha}$ vom Seitenverhältnis des Leitwerks abhängig, in wesentlich geringerem Maße allerdings auch von der Umrißform. Fig. 7 zeigt den Verlauf der Funktion in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis. Die Werte sind der Praxis entnommen und gelten für gebräuchliche Umrißformen. In Sonderfällen müßte durch einen Windkanalversuch der richtige Wert ermittelt werden.

Für das gewählte Leitwerk ergibt sich ein $\frac{\partial c_{nH}}{\partial \alpha} = 0,07$, damit wird
 $\frac{\partial M/q}{\partial \alpha} = 0,07 \cdot 2,7 \cdot 4,35 = 0,82$.

Im allgemeinen ist die Höhenflosse gegenüber der Tragflügelsehne um einen bestimmten Winkel δ geschränkt. Dies bedingt eine Verschiebung der Leitwerksgeraden nach links oder rechts je nach dem Sinn der Schränkung. Ist z. B.

die Einstellung gegenüber der Flügelsehne negativ, dann müßte die Leitwerksgerade um den entsprechenden Betrag nach rechts verschoben werden; denn das Leitwerksmoment wird erst Null, wenn der Anstellwinkel des Flugzeuges $+\delta$ beträgt.

6. Berücksichtigung des Abwindes. Eine Auftragung der beiden Momentenkurven über dem gleichen Anstellwinkel ist aber auch jetzt noch nicht möglich; denn das Höhenleitwerk liegt ja im Abwindbereich des Flügels, sein wirksamer Anstellwinkel ist deshalb kleiner als der geometrische. Den Einfluß des Abwindes berücksichtigt man dadurch, daß man die Neigung der Leitwerksgeraden um den Wert ξ verkleinert. Dieser Abminderungsfaktor ist von HEMBOLD aus der PRANDTL'schen Tragflügeltheorie berechnet und ergibt sich für den Eindecker aus der Formel:

$$\xi = 1 - 0,73 \cdot \frac{t}{b} \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{b}{2l_H} \right)^2} \right].$$

Für das gewählte Beispiel wird:

$$\xi = 1 - 0,73 \cdot \frac{1,85}{11,57} \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{11,57}{2 \cdot 4,35} \right)^2} \right] = 1 - 0,117 \cdot [1 + \sqrt{2,77}] = 0,69.$$

Bei Berücksichtigung des Abwindes wird damit: $\frac{\partial M/q}{\partial \alpha} = 0,82 \cdot 0,69 = 0,565$.

Ein Punkt der vorher gezeichneten Leitwerksgeraden bleibt erhalten, und zwar derjenige, der zu dem Anstellwinkel gehört, für den der Auftrieb des Tragflügels Null wird. Nach der Tragflügeltheorie kann man nämlich den Auftrieb als die Reaktion auf den Impuls der abwärts geschleuderten Luftmenge ansehen; ein Abwind entsteht daher nicht, wenn kein Auftrieb vorhanden ist.

Man hat also jetzt durch den entsprechenden Punkt eine neue Gerade mit der Neigung $\frac{\partial M/q}{\partial \alpha} = 0,565$ zu legen, die der Flügelkurve zu überlagern ist, um den Verlauf des Gesamtmomentes zu bestimmen.

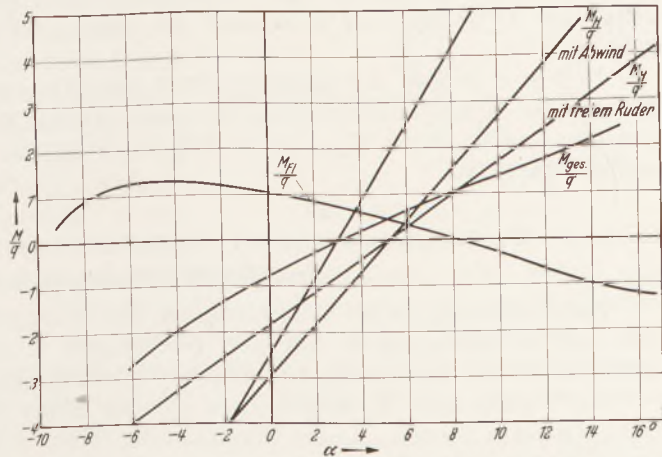


Fig. 8 Momentenverlauf eines stabilen Flugzeuges.

7. Endgültige Momentenkurve. Für viele Flugzeuge, insbesondere für alle Kriessflugzeuge, wird nun noch verlangt, daß sie mit losgelassener Steuerung stabil sind. Da in diesem Falle das Höhenruder nicht zur Auftriebserzeugung herangezogen werden kann, wird die Neigung der Leitwerksgeraden um den weiteren Faktor x verkleinert. Dieser Wert x ist bestimmt durch das Verhältnis Ruderfläche zum Gesamtleitwerk: $x = 1 - \frac{F_R}{F_H}$, in unserem Fall $x = 0,63$.

Die Leitwerksgerade mit der endgültigen Neigung: $\frac{c_{nH}}{c_\alpha} \cdot F_H \cdot l_H \cdot \xi \cdot x = 0,356$ ist jetzt durch den Schnittpunkt der vorherigen Kurve mit der Abzissenachse zu legen; denn das Loslassen der Steuerung ist ohne Einfluß, sobald das Höhenleitwerk unbelastet ist.

In Fig. 8 wurde die auf vorstehend beschriebene Weise gefundene Leitwerksgerade der ursprünglichen Flügelmomentenkurve übergelagert. Der Verlauf der Gesamtmomentenkurve $M_{ges/q}$ zeigt, daß das Flugzeug im untersuchten Anstellwinkelbereich stabil ist.

Einfache Wechselstromversuche, elektrische und mechanische Schwingungen.

Von Wilhelm Volkmann in Berlin.

Zur Einführung in die Besonderheiten des Wechselstromes ist es nötig zu zeigen, wie sich in Abhängigkeit von der Wechselzahl 1. eine Kapazität, 2. eine Selbstinduktion, 3. ein aus beiden bestehender Schwingungskreis verhalten.

Die Schule wird im allgemeinen für die Lehre vom Wechselstrom nicht mehr Zeit aufwenden können, als zur Durchführung dieser drei Versuchsreihen in einfachster Form und zu ihrer geistigen Verarbeitung nötig ist. Von den Bedürfnissen der Fachschulen ist hier nicht die Rede. Je einfacher das Gerät ist, um so mehr Schulen wird es zugänglich; deshalb habe ich nach der einfachsten und billigsten, zuverlässig arbeitenden Form gesucht. Von kleinster Form aus kann man leicht auf eines mit größerer Leistung kommen, während der umgekehrte Weg sehr zweifelhaft ist.

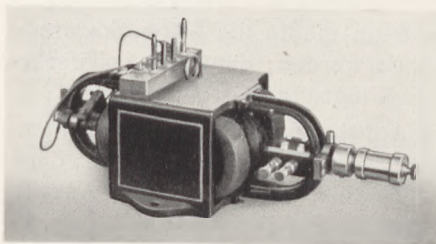


Fig. 1. Einankerumformer.

Als Einankerumformer zur Erzeugung von Wechselstrom veränderlicher Wechselzahl dient die sehr verbreitete kleine Dynamomaschine Nr. 17 von W. R. Seifert, Dresden A, Neue Gasse 20, für 10 Volt (Fig. 1). Sie hat außer dem Kommutator zwei Schleifringe. Die Feldwicklung liegt im Nebenschluß zum Anker, und zwischen zwei im allgemeinen kurzgeschlossene Klemmen kann ein Gleitwiderstand eingeschaltet werden, durch dessen Änderung man die Umlaufzahl der als Motor oder Umformer laufenden Maschine in hinreichendem Maße regeln kann. Schwächen des Feldes gibt schnelleren Lauf. Die Maschine ist zu vielen Versuchen gut geeignet.

Zum Antrieb der Maschine kann eine Sammlerbatterie von 8 bis 12 Volt dienen. Im Wechselstromnetz verwendet man den Schultransformator 2 bis 12 Volt, 8,5 Amp, legt an die Zwölfvoltklemmen den Selengleichrichter für 8 Volt, 8 Amp Gleichstrom und führt von hier den Gleichstrom über die Glättungsdrossel zur Maschine. Ohne Glättungsdrossel treten Störungen bei gewissen Umdrehungszahlen auf. Der Regelwiderstand in der Feldwicklung habe etwa 20 Ohm für 2 Amp, z. B. Ruhstrat Nr. 1563 NF. Die Maschine nimmt bei den Versuchen etwa 3,5 Amp auf.

Die Benutzung eines Einankerumformers für diese Versuche mit wechselnder Umlaufzahl hat den Vorteil, daß die Spannung wesentlich von der angelegten Gleichstromspannung bestimmt wird, besonders wenn die Stromentnahme bei den Versuchen gering ist. Die Maschine wird auf ein Polster gesetzt, das z. B. aus je 8 abwechselnden

Schichten Zellstoffwatte und Pappe bestehen kann. Am besten steht die Maschine auf einem anderen Tisch als die Versuchsanordnung, die gegen Erschütterungen immerhin empfindlich ist.

Die Versuchsanordnung ist in Fig. 2 als Schaltbild, in Fig. 3 in der Ausführungsform dargestellt. Der von der Maschine gelieferte Wechselstrom wird mit einem Klingeltransformator (220 Volt, 3 bis 8 Volt, 1 Amp) auf höhere Spannung gebracht. Er durchläuft einen regelbaren Widerstand R , wofür Potentiometer Kabi 1062 zu 50000 Ohm genommen wurde und eine Glühlampe 4 Volt, 0,04 Amp (Fahrrad-Rücklicht, Schullampe 7). Dann verzweigt sich die Leitung und führt über je eine Glühlampe 0,04 Amp zu Messingdrahlhaken, in die Kondensator C und Selbstinduktion L eingehängt werden können. Die weitere Leitung vereinigt sich wieder in der rechten Anschlußklemme. Von der Verzweigungsstelle in der Mitte führt noch eine Leitung über 60000 Ohm zum Bodenkontakt der Fassung für die Osram-Indikatorlampe. Der Mantel der Swanfassung ist verbunden mit einer 4 mm weiten „Telephonbuchse“. In die Buchse wird ein Steckerstift gesteckt, der die Drehachse eines leichten Holzarmes bildet. Nahe an dessen Ende ist ein Metallstift angebracht, der mit dem Steckerstift leitend verbunden ist. Er fällt beim Umlegen in Knicke von Blattfedern, die links und rechts mit den Endklemmen verbunden sind. Die Indikatorlampe wird dadurch als Spannungszeiger einerseits dem Widerstand, anderseits dem Kondensator oder der Selbstinduktion parallel gelegt.

Das 60000-Ohm-Stäbchen ist der von Siemens & Halske zu beziehende Vorschaltwiderstand zur Osram-Zwerg-Glimmlampe T1. Die Indikatorlampe ist eine Glimmlampe, deren gerade Elektrode aus Eisendraht 55 mm lang aus zwei Ringelektroden hervorragt. Der Draht bedeckt sich in einer der Stromstärke proportionalen Länge mit Glimmlicht; ganze Länge bedeutet etwa 2 Milliamp.

Der Rahmen, der die Form der Stromverzweigung hervorhebt, ist aus 8 mm starken Holzleisten von 2 bis 4 cm Breite zusammengesetzt und unten an ein Metallstück geschraubt, das auf das Stativgewinde ($\frac{3}{8}$ '' Ww) paßt. Hinter die Indikatorlampe ist ein steifes schwarzes Papier gesetzt, von dem sich ihr Licht gut abhebt. Eine Reihe kleiner Löcher hinter der Lampe ermöglicht dem Vorführenden, die Lampe von der Rückseite her zu beobachten. Der Drehknopf des Widerstandes befindet sich auf der Rückseite des Brettchens.

1. Verhalten einer Kapazität.

In die oberen Haken (bei C in Fig. 2) hängt man mit Drahtösen, die an die Zuleitungen gelötet sind, einen Becherkondensator 0,1 Mikrofarad. Bei mittlerer Laufgeschwindigkeit wird der Widerstand so eingestellt, daß die Indikatorlampe auf gleiche Länge leuchtet, wenn sie dem Widerstand und wenn sie dem Kondensator parallel geschaltet ist. Es wird der größte Teil des Widerstandes einzuschalten sein, und am Transformator wird man das größte Übersetzungsverhältnis wählen (Eingang 3-Volt-

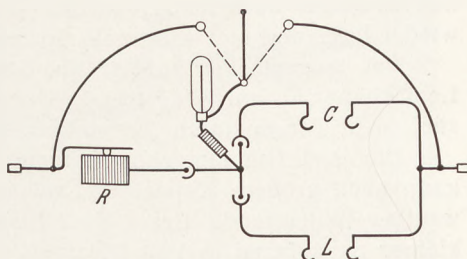


Fig. 2. Schaltbild zu Fig. 3.

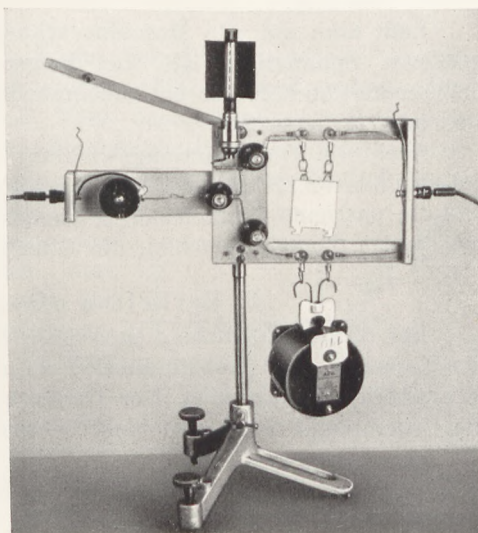


Fig. 3. Gerät für Wechselstromversuche.

Klemmen, Ausgang 220-Volt-Klemmen). Hierauf läßt man die Maschine schneller laufen. Die Lampe zeigt nun an, daß die Spannung am Kondensator kleiner geworden ist als am Widerstand. Darauf stellt man langsam auf langsameren Lauf der Maschine ein. Geschieht es zu schnell, so wird das Feld schon stärker, bevor der Lauf langsamer geworden ist. Das bewirkt ein Aufleuchten der Glimmlampe, das mit dem Versuch nichts zu tun hat und nur stört. Man kann auch vor dem Regeln der Umlaufszahl den Dreharm hochstellen, so daß die Glimmlampe ausgeschaltet ist, und ihn erst wieder links und rechts abwechselnd einlegen, wenn der Lauf gleichmäßig geworden ist.

Bei langsamem Lauf ist die Spannung am Kondensator größer, bei schnellem Lauf kleiner als am Widerstand. Der Kondensator läßt also mit zunehmender Wechselzahl mehr Strom durch (entwickelt sich zur Leitfähigkeit).

Die drei Glühlämpchen kommen bei diesem Versuch nicht zum Glühen. Man kann auch größere Kapazitäten nehmen, 0,25 oder 0,5 Mikrofara und entsprechend weniger Widerstand. Bei 1 bis 2 Mikrofara ist außerdem das Übersetzungsverhältnis kleiner zu nehmen (5-Volt-Klemme).

2. Verhalten einer Selbstinduktion.

Als Selbstinduktion wird die Oberspannungswicklung eines Klingeltransformators 110 Volt, 3 bis 8 Volt, 1 Amp genommen. Zwei in den Zuführungsklemmen befestigte Messingdrahtaken dienen dazu, ihn bei L einzuhängen. Die Kapazität wird abgenommen. Wieder wird bei mittlerer Umlaufzahl der Widerstand so eingestellt, daß der Spannungszeiger gleiche Leuchtlänge in beiden Stellungen zeigt. Es wird etwa 12000 Ohm sein.

Läßt man nun die Maschine schneller laufen, so zeigt die Selbstinduktion den größeren Spannungsabfall, bei langsamerem Lauf dagegen der Widerstand. Die Selbstinduktion läßt also mit zunehmender Wechselzahl weniger Strom durch (entwickelt sich zum Widerstand).

Auch die Oberspannungswicklung eines 220-Volt-Klingeltransformators ist als Selbstinduktion für diesen Versuch geeignet, der Widerstand ist dann ganz einzuschalten und die passende Umlaufzahl zu suchen, bei der beide Spannungen gleich sind. Auch bei diesem Versuch leuchten die Glühlämpchen nicht.

3. Verhalten eines Schwingungskreises.

Bei diesem Versuche dienen die Glühlämpchen als Stromanzeiger. Man muß also die Kapazität und Selbstinduktion so nehmen, daß die für mäßiges Glühen nötige Stromstärke erreicht wird. Der drehbare Arm wird hochgestellt oder ganz abgenommen, die Glimmlampe wird also nicht benutzt.

Man hängt bei C zwei Mikrofara, bei L den 110-Volt-Transformator ein. Das mittlere Übersetzungsverhältnis wird am besten sein. Man beginnt mit dem langsamsten Lauf. Es kann nötig sein, um hinreichend langsamen Lauf zu erhalten, daß man die Spannung vom Schultransformator von 12 auf 10 Volt herabsetzt. Der Widerstand wird so weit verkleinert, bis die Lampe in der Leitung zur Selbstinduktion deutlich und die in der gemeinsamen Zuleitung eben merklich glüht.

Die Lampe bei der Selbstinduktion brennt heller als die in der Zuleitung. Dies zeigt an, daß der Kreis bereits von elektrischen Schwingungen durchflossen wird.

In dem Schwingungskreis liegen zwei Wechselströme übereinander, der quer hindurchgehende, den die Maschine hineinschiebt, und der pendelnde Strom der Eigenschwingung des Kreises, der von jenem angeregt ist und sich um so höher aufschauelt, je besser die Schwingungszahlen miteinander übereinstimmen.

Bei dem langsamen Lauf, der zunächst eingestellt ist, laufen anregender und Eigenstrom annähernd gleichphasig durch die Lampe vor der Selbstinduktion und annähernd gegenphasig durch die Lampe vor dem Kondensator. Das zeigen die beiden Lampen dadurch an, daß sie verschieden stark leuchten.

Steigert man nun die Umlaufgeschwindigkeit der Maschine und damit die Wechselzahl, so kommt diese zunächst der Wechselzahl (Zahl der halben Schwingungen) des Schwingungskreises näher. Beide Lampen in ihm leuchten lebhaft und überstrahlen die Lampe in der Zuführung bedeutend.

Bei weiterer Steigerung der anregenden Wechselzahl nimmt das Leuchten der Lampe vor der Selbstinduktion schnell ab. Der anregende Strom geht nun mit der Eigenschwingung gleichphasig durch die Kapazität, gegenphasig durch die Selbstinduktion. Das Verhalten der Lampen zeigt den Phasenwechsel beim Durchgang durch die Resonanz an.

4. Ein mechanischer Resonanzversuch.

Die Erscheinungen, die bei der dritten Versuchsreihe beobachtet wurden, sind keine Besonderheiten der Elektrizität, sondern treten immer auf, wenn ein schwingungsfähiges Gebilde irgend welcher Art von einem nahezu mit der gleichen Schwingungszahl arbeitenden angeregt wird. Die Form der dabei auftretenden Erscheinungen ist in hohem Maße von der Dämpfung des erregten Schwingers abhängig. Mit erstaunlicher Genauigkeit hat R. KÖNIG den Phasenwechsel bei der Wechselwirkung von Stimmgabeln und Resonatoren bereits 1880 messend verfolgt. Die Theorie der Erscheinungen wurde erst 1897 von M. WIEN ausreichend vervollständigt.

Fig. 4 zeigt ein gekoppeltes Pendelpaar, das aus meinem Stativmaterial¹ zusammengesetzt ist und den Verlauf des Phasenwechsels und der Dämpfung sehr deutlich zeigt. Das schwere, wenig gedämpfte Pendel entspricht dem rotierenden Umformer der vorigen Versuchsreihe, das leichte Pendel mit Dämpfungsscheibe entspricht dem Schwingungskreis. Um die Übereinstimmung mit der vorigen Versuchsreihe zu wahren, wird die Schwingungszahl des schweren Pendels geändert, die des leichten ungeändert gelassen.

Träger für beide Pendel sind Winkelfüße mit eingeschraubten 65-cm-Stielen, an denen mit Kreuzmuffe je ein eiserner Ring von 10 cm Durchmesser befestigt ist. Der obere Rand der Ringe ist durch Feilen oder Schleifen geglättet.

Das schwere Pendel ist, wie Fig. 4 zeigt und Fig. 5 in Kurzzeichen für Notizen andeutet, folgendermaßen zusammengesetzt. Die auf dem Ring rollende Achse bildet ein 50 cm langer Eisenstab. An ihm ist innerhalb des Ringes ein 50-cm-Stab mit einer Rohrmuffe befestigt; er ist mit 2 kg beschwert. Am Ende der Achse steht aufwärts eine 15-cm-Stabmuffe mit einem 1-kg-Schiebegewicht zur Veränderung der Schwingungszahl. Ein Schiebegewicht über der Achse ist gewählt, weil seine Verschiebung das Trägheitsmoment und die Direktionskraft des Pendels in entgegengesetztem Sinn ändern. Der Erfolg wird also mit geringster Änderung der Form des Pendels erzielt. Auf der Achse ist noch mit einer Federklammer ein Spiegel befestigt, und schließlich dient ein kleines Schiebegewicht als Kupplungswalze.

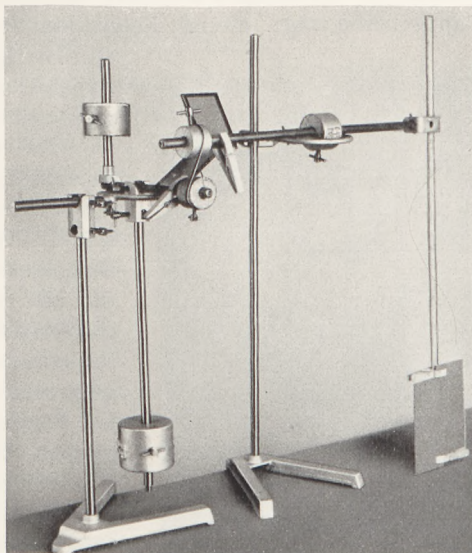


Fig. 4. Gekoppeltes Pendelpaar.

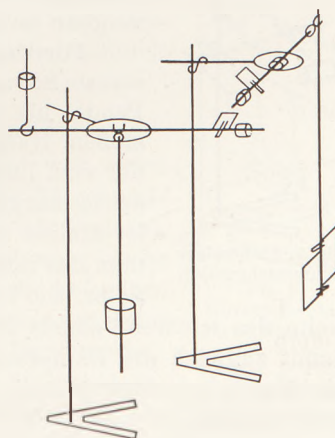


Fig. 5. Kurzzeichenbild zu Fig. 4.

¹ Hersteller: Leppin & Masche, Berlin SO 16, Engelufer 27.

Die Achse des leichten Pendels ist innerhalb des Ringes mit 1 kg beschwert, um die Sicherheit der Lagerung zu verbessern. Auf Trägheitsmoment und Direktionskraft hat diese Belastung keinen nennenswerten Einfluß. Am Ende der Achse ist mit einer Rohrmuffe ein leichter Holzstab angebracht, der unten eine 12 cm breite, 18 cm lange Pappscheibe trägt, die mit Federklammern, Reißnägeln oder Gummibändchen befestigt

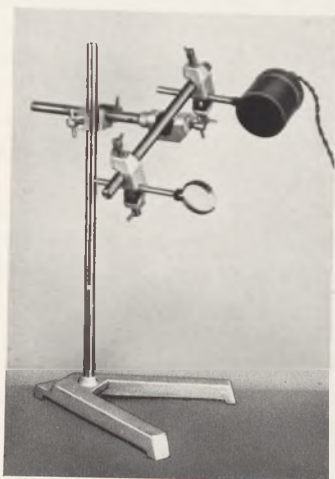


Fig. 6. Lichtzeiger für das Pendelpaar.

werden kann. Das andere Ende der Achse trägt einen Spiegel und eine Kupplungswalze (kleines Schiebegewicht).

Die beiden Pendel, deren Achsen um etwa 8 cm verschiedene Höhe über dem Tisch haben, werden so aufgestellt, daß die Achsen sich rechtwinklig kreuzen und die Kupplungswalzen übereinander liegen. Die Kupplung geschieht mit einem oder zwei Gummibändchen, die als gekreuzter Riemen über die Kupplungswalzen gelegt sind. Man achte auf die Richtung der Riemenkreuzung. Denkt man sich den Winkel der Achsen gestreckt, so soll das Gummiband ungekreuzt laufen. Die Pendel werden vor dem Zusammenkuppeln so abgeglichen, daß sie gleiche Schwingungsdauer haben, wenn das Schiebegewicht des schweren Pendels knapp auf halber Höhe an der Stabmuffe steht.

Über die beiden Spiegel wird ein Lichtzeiger geführt. Am einfachsten wird das Bild eines Lampenfadens verwendet. Das Lämpchen, z. B. Schullampe 2 oder noch besser Osram Nr. 8100, wird mit einem Brillenglas (+ 5 bis + 10 D Stärke) über beide Spiegel auf den Schirm abgebildet. Das Lichtbündel fällt waagerecht auf den einen unter 45° geneigten Spiegel, geht senkrecht empor zum zweiten Spiegel und wird von ihm waagerecht zur Wand oder schräg aufwärts zu einem geneigten Schirm geworfen. Die Lampe und Linse sind nach Fig. 6 an einem Stativ

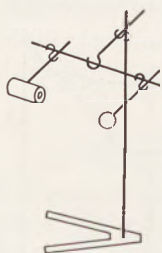


Fig. 7. Lichtzeiger (Kurzzeichenbild).

neigbar befestigt. Kurzzeichenbild in Fig. 7. Für den Versuch wird das schwere Pendel zunächst auf langsamste Schwingung eingestellt, die Kupplung aufgelegt und das schwere Pendel bis zu einer am Schirm angemerkten Schwingungsweite angestoßen. Nach etwa 8 Schwingungen ist der stationäre Zustand erreicht, der vom Lichtfleck durch eine ganz enge Ellipse mit schräger Hauptachse dargestellt wird. Die Schwingungsweite des leichten Pendels ist kleiner als die des schweren. Bei den folgenden Versuchen stellt man das Schiebegewicht oben am schweren Pendel jeweils 2 bis 3 cm tiefer. Die Versuche zeigen, daß die Ellipse sich öffnet, die Schwingungs-

weite des leichten Pendels zunimmt bis weit über die des schweren Pendels, und daß damit zugleich die Dämpfung stark auf das schwere Pendel einwirkt. Dann schlägt die Kurve zu einer Ellipse in der anderen Diagonalrichtung um und wird wieder sehr schlank.

Im Anfange der Versuchsreihe schwingen die Pendel nahezu im Gleichtakt, beim Durchgang durch die Resonanz mit 90° Phasenunterschied, schließlich nahezu im Gegenteil. Wird die Dämpfung des leichten Pendels kleiner genommen oder die Kopplung durch weitere Gummibänder verstärkt, so treten statt der beschriebenen stationären Bewegungen Schwebungen auf.

Das Gerät läßt messende Versuche über Phasenverschiebung, Kopplungsgrad und Dämpfung zu. Man findet bei solchen Messungen, daß die Resonanzfrequenz nicht mit der Eigenfrequenz eines der Pendel übereinstimmt. R. KÖNIG hatte dies bereits bei seinen akustischen Versuchen 1880 gefunden. Will man diese Unsymmetrie der Resonanzkurve zeigen, so macht man die Schwingungszahl des leichten Pendels

veränderlich und vergleicht mit Hilfe der Spiegel nicht die beiden gekoppelten Pendel, sondern das schwere Pendel mit einem dritten Pendel, das ihm gleichgestimmt war, bevor es mit dem leichten gekoppelt wurde. Die Verstimmung des schweren Pendels durch das leichte gedämpfte kann auf diese Art gut gezeigt werden.

5. Koppelschwingungen der Taschenuhr.

R. W. POHL hat in seiner Mechanik und lange vorher bei einem Vortrage darauf hingewiesen, daß amerikanische Taschenuhren, die Drittelsekunden schlagen, sehr lebhaft mit der Unruhe mitschwingen, wenn man sie am Bügel aufhängt, daß dagegen deutsche Taschenuhren mit ihrem schnellen Fünftelsekundenschlag diese Erscheinung viel weniger zeigen. Da es nun etwas unbequem ist, sich für diesen Versuch eine amerikanische Uhr zu beschaffen, habe ich einen anderen Weg gesucht.

Fig. 8 zeigt ein Pappkästchen an zwei Drahten, die durch Löcher in der Pappe gezogen sind. In dem Kästchen liegt eine Taschenuhr; sie ist mit einem eckig geschnittenen Korkstück darin festgeklemmt. Quer über dem Kästchen liegt in zwei Kerben ein leichter Zeiger, ein Strohhalbm oder ein Holzdraht. An die Drahten sind die Enden eines Fadens geknüpft, der über zwei Stativstäbe und die auf einem von ihnen sitzenden Federklammern gelegt ist. Das Kästchen kann, an zwei Fäden hängend, Drehschwingungen ausführen, die um so schneller erfolgen, je kürzer und je weiter voneinander entfernt die Fäden sind. Größere Einstellung der Fadenlänge geschieht durch Verschieben des Stabes mit den Klammern; feinere, indem man die Klammern in eine andere Neigung drückt. Mit dieser schnell zusammenstellbaren Vorrichtung, die in Fig. 9 in Kurzzeichen dargestellt ist, kann man leicht die kleine Schaukel so abstimmen, daß sie von der Unruhe der Uhr zu weithin sichtbaren Schwingungen aufgeschaukelt wird. Die Rückwirkung auf die Uhr zeigt sich darin, daß sie nun beträchtlich falsch geht.

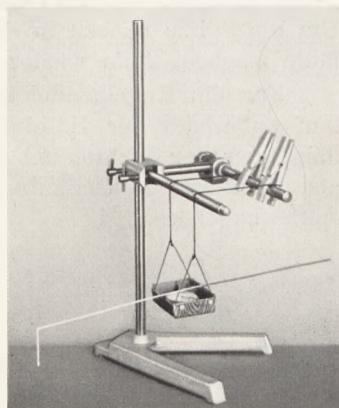


Fig. 8. Uhrschaukel für Resonanz.

6. Ein Freihandversuch zum Resonanzpendel.

Eine leere runde Pappschachtel, etwa 6 cm hoch und weit, wird an einem Bindfaden von etwa 1,5 mm Stärke und 25 cm Länge aufgehängt. Der Bindfaden gehe durch die Mitte des Deckels (oder Bodens). Man faßt den Faden am freien Ende und bewegt die Hand waagrecht im Kreise. Der Durchmesser des Kreises sei etwa 60 cm, die Zeit eines Umlaufes zunächst 2 bis 3 Sekunden. Die Schachtel führt unter der Hand dieselbe Bewegung aus und bleibt nur unmerklich hinter der Hand zurück. Dann führt man dieselbe Bewegung etwas schneller aus und wiederholt diese geringe Steigerung der Geschwindigkeit bei einigen folgenden Versuchen. Das Zurückbleiben der Schachtel hinter der Hand wird nun merklich. Bei den weiteren Versuchen mit wieder größerer Geschwindigkeit nimmt man den Kreis der Hand kleiner in dem Maß, als die Schachtel nach außen schwingt. Das Zurückbleiben der Schachtel überschreitet sehr schnell 90°, und bald darauf schwingt die Schachtel im Gegenteil zur Hand, die nur noch einen sehr kleinen Kreis (einige Zentimeter) ausführt. Unter der Hand steht bei diesem Zurückbleiben um fast 180° ein Punkt des Fadens still. Bei weiterer Zunahme der Umlaufgeschwindigkeit muß die Hand wieder größere Kreise machen. Der ruhende Fadenpunkt geht immer tiefer hinab, der Kreis der Schachtel wird bald kleiner als der der Hand und schließlich sehr klein. Man lenke bei diesen Versuchen die Aufmerksamkeit auf das Verhältnis der Durchmesser der Kreise von

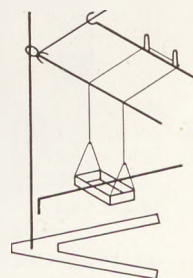


Fig. 9.
Kurzzeichenbild
zu Fig. 8.

Hand und Schachtel und auf den Winkel, um den die Schachtel als konisches Pendel hinter der Hand zurückbleibt. Aus der Neigung des Fadens gegen das Lot kann auf die Größe der Fadenspannung geschlossen werden, wenn man die Gegenüberstellung: Masse — Selbstinduktion, Fadenspannung — Kehrwert der Kapazität, erwähnen will.

Dieser Resonanzversuch ist von den beiden vorigen vor allem darin verschieden, daß dabei die Pappschachtel als Kegelpendel keine feste Schwingungsdauer hat, sondern sich unbegrenzt anpaßt. Solange sie außerhalb der Hand in fast gleicher Phase mitläuft, hat man sich den Faden verlängert zu denken bis zur Kegelspitze. Um die Spitze nahezu in das Fadenende zu legen, muß die Hand sehr kleine Umläufe machen, dann wieder größere, damit die Kegelspitze tiefer liegen kann.

Für ein Kegelpendel sind auch die kurzen Schwingungsdauern bei einem Umlauf außerhalb der Hand im Gleichtakt möglich. Die verhältnismäßig große Luftdämpfung der leichten Schachtel sorgt aber dafür, daß sie schwerer zustande kommen als die kleineren Umläufe im Gegenteil, die einem spitzen Winkel an der Kegelspitze zugehören.

Berichte.

I. Apparate und Versuche.

Ein neuartiger elektrischer Heißwasserspender.
Von Dr. RUDOLF LIPS in Berlin.

Im Laboratorium ist warmes oder heißes Wasser für die verschiedensten Zwecke unerlässlich. Steht keine Warmwasserversorgung zur Verfügung, so bereitet man sich heißes Wasser mit dem Gasbrenner (Teekessel). In letzter Zeit hat nun

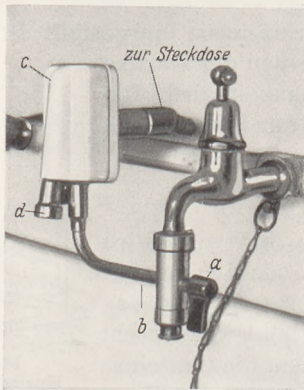


Fig. 1. Elektrischer Heißwasserspender „Heiwa“.

die Firma Erhard Junghans einen handlichen elektrischen Heißwasserspender auf den Markt gebracht, aus dem man sofort warmes oder heißes Wasser erhält. Ich habe ihn längere Zeit bei den Laboratoriumsarbeiten benutzt und ausprobiert.

Das Gerät ist für den Haushalt gedacht und nicht viel größer als zwei nebeneinander gestellte Streichholzschachteln. Wie Fig. 1 zeigt, kann es an jeden normalen Wasserhahn und an jede Steckdose der Lichtleitung angeschlossen werden. Dreht man die Wasserleitung auf und läßt den schwarzen Hebel *a* in der nach unten gerichteten Stellung, so fließt kaltes Wasser aus dem Hahn. Dadurch, daß die Zuleitung zu dem Heizteil *b* ein Loch

besitzt, ist der Wasserstrahl lufthaltiger als normal ausfließendes Wasser. Nach Umstellung des Hahnes *a* nach oben fließt das Wasser zu einem Teil durch das Gerät *c* und schaltet es automatisch ein. Aus *d* kann man nun sofort warmes Wasser entnehmen. Die Temperatur des Wassers läßt sich durch mehr oder minder große Strömungsgeschwindigkeit in dem Spender regulieren. Mit

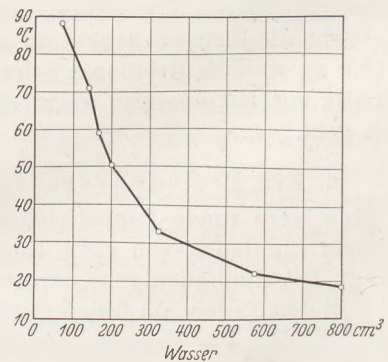


Fig. 2. Zusammenhang zwischen der Warmwassermenge in cm^3/min und der Temperatur in Celsiusgraden.

einem Seriengerät 220 Volt, 1000 Watt wurde aus Messungen die in Fig. 2 wiedergegebene Kurve erhalten. Daraus ist ohne weiteres ersichtlich, daß der Spender bei höherer Temperatur weniger Wasser liefert (200 cm^3/min bei 50°; 100 cm^3/min bei 80° usw.).

Der Vorteil dieses Apparates besteht darin, daß er an jede Wasserleitung angeschlossen werden kann und auch bei Wassermangel nicht durchbrennt. Er arbeitet vollständig selbsttätig; der Strom braucht nicht abgeschaltet zu werden.

Die Firma Junghans liefert diesen Spender in verschiedenen Stärken, jedoch immer in gleicher Größe für 600, 1000, 1500, 2000, 3000 und

5000 Watt. Die Stromkosten sind sehr gering. Der Preis des Gerätes ist RM 12,50. Die Anschrift des Herstellers ist: Firma Erhard Junghans, G. m. b. H., Abt. Heiwa, Dresden-A 20, Dohnaer Str. 103.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und die Schwankungen unseres Zeitmaßes. Bericht von S. JANSSEN in Wandsbek.

An einer genauen Zeitmessung sind die Astronomie und die Geophysik interessiert; die Rektaszensionsunterschiede der Himmelskörper werden nur durch Zeitmessung ermittelt. Je genauer die Zeit gemessen werden kann, desto kleinere Fehler sind auch in den Gestirnsörteren vorhanden. Die die Zeit messende Uhr wird aber an Meridiandurchgängen von Sternen kontrolliert, ist also von der Erdrotation abhängig. Dabei treten nun Abweichungen auf, die zwar an der Grenze der Genauigkeit von Pendeluhr liegen, aber doch den Verdacht einer Veränderlichkeit der Geschwindigkeit der Erdrotation aufkommen lassen, um so mehr, als eine solche theoretisch nicht nur möglich, sondern durchaus wahrscheinlich ist. Aber eine klare Entscheidung ist nur von einer größeren Zuverlässigkeit der benutzten Uhren zu erhoffen. Ein voller Erfolg scheint den Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durch die Arbeiten von SCHEIBE und ADELSBERGER beschieden (1) zu sein.

1. Eigenschaften der Quarzstäbe.

In den Uhren schwingen piezoelektrische Quarzstäbe. Die Orientierung zum Kristall (sechseckige Säule) wird durch Fig. 1a erläutert (11); dabei werden auch die Dimensionen in Millimetern angegeben. In den Uhren I und II ist die Längsrichtung der Stäbe parallel der Y-Achse; sie wird von GIEBE und SCHEIBE (11) als Orientierung I (hier kurz O I) bezeichnet; $y = 91$; $x = 1,5$; $z = 3$. In den Uhren III und IV befinden sich Stäbe mit den Maßen $x = 91$; $y = z = 11,4$ in O II, Länge in Richtung der X-Achse. Wie jeder Stab, können auch die Quarzstäbe in Längsrichtung mechanische Schwingungen verschiedener Ordnungszahl n ausführen; deren Frequenz läßt sich nach der

Formel $f = \frac{n}{2 \cdot l} \sqrt{\frac{E}{d}}$ berechnen. Mit den angegebenen Dimensionen erhält man rund $f = 60000$, fast gleich in beiden Orientierungen. Unabhängig von n sind dann (bei nicht an einem Ende eingeklemmten Stäben) die Bewegungsknoten $\lambda/4$ von den Enden entfernt. Mit $n = 2$ sind zwei Knoten vorhanden; man wähle diese Schwingungsform, um einerseits die Quarzstäbe an zwei Knoten befestigen zu können (halten); das geschieht durch Zwirnsfäden an einem Messingbügel (Fig. 1d). Andererseits wählt man n aber auch nicht zu groß, weil dann f noch größer wird. (Die Länge ist durch den Durchmesser der zur Verfügung stehenden Kristalle bedingt). Zum Verständnis der Elektrodenanordnung und der Rückkopplung mit einem Schwingungskreis einer

Glühkathodenröhre sei noch folgendes angegeben. Bei der Schwingung $n = 2$ läßt sich für beide Orientierungen die Druckverteilung durch Fig. 1b I (7) darstellen. Der Druck erreicht also in den Halterungspunkten ein Maximum. Wichtig ist aber auch die Änderung des Druckes längs des Stabes. Der Druck auf die beiden Stabelemente 1 und 2 (Fig. 1b II) in den Bewegungs-

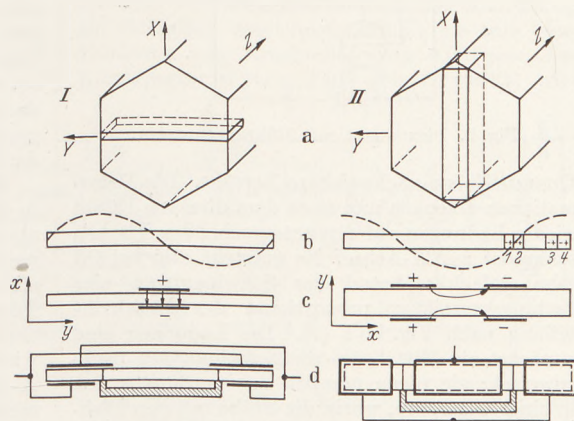


Fig. 1. Quarzstäbe. a) Orientierung im Kristall; b) I. Druckverteilung für beide Orientierungen und Ladungsverteilung für O I, b) II. Druckgradient für beide Orientierungen und Ladungsverteilung für O II; c) Felder in O I und O II; d) Elektrodenanordnung und Halterung für I) Uhren I/II und II) Uhren III/IV.

knoten und Druckbäuchen ist zwar größer als der auf die Elemente 3 und 4; wegen der sinusförmigen Druckverteilung ist aber der Druckunterschied auf 3 und 4 größer als der auf 1 und 2. Der Druckgradient (Differentialquotient des Druckes) ergibt also eine Verteilung nach Fig. 1b II.

Die Stäbe haben folgende elektrischen Eigenschaften. Übt man auf die Stäbe in Richtung der X-Achse (auch elektrische Achse genannt) einen Druck (Zug) aus, so entstehen auf den beiden Flächen senkrecht zur X-Achse Ladungen mit entgegengesetzten Vorzeichen, bei O I also auf den Flächen $9,1 \times 3$, bei O II auf $11,4 \times 11,4$; bei Druck und Zug ist die Feldrichtung entgegengesetzt. Die Ladungen sind mit einem empfindlichen Elektroskop nachweisbar. Dies ist der sog. direkte Piezoeffekt. — Für die Umkehrung dieser Erscheinung, Druckänderung durch ein elektrisches Feld (reziproker Effekt), muß ein elektrisches Feld in Richtung der X-Achse wirken. Darum legt man im Falle O I zwei Elektroden parallel der y-z-Fläche (Fig. 1c I). Dann wird der Stab von einem fast homogenen elektrischen Feld in genannter Richtung durchsetzt. In O II kann man wegen des großen Abstandes der y-z-Flächen (am Ende) nur die Wirkung eines Streufeldes der nach

Fig. 1c II angeordneten Elektroden ausnutzen (11), die Elektroden können aber den Stab vollständig umschließen. Die Felder rufen im Stab eine Druckänderung hervor. Der direkte Nachweis ist wegen der geringen Längenänderung durch den Druck ungemein schwierig; er wird aber bei Schwingungen bedeutungsvoll. Denn legt man an die Elektroden eine Wechselfspannung, so wird der Stab in der Frequenz des Feldes wechselnden Drucken und damit Deformationen ausgesetzt, er schwingt. Die Schwingungsweite erreicht nur bei Übereinstimmung der Feld- und elastischen

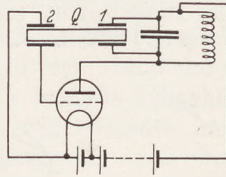


Fig. 2. Piezoquarz mit Röhrengenerator.

Quarzfrequenz nachweisbare Beträge. Die Deformationen erzeugen nun nach dem direkten Effekt wieder Ladungen auf den entsprechenden Flächen senkrecht zur X -Achse. Es entsteht also bei O I sehr einfach während der Schwingungen eine Ladungsverteilung proportional der Druckverteilung nach Fig. 1b I (7). Die Ladungen sind zunächst ein Mittel, um die Schwingungen nachzuweisen; sie regen nämlich das verdünnte Gas in einer Glasröhre, worin die Stäbe mit den Elektroden eingeschlossen sind, zum Leuchten an (9, 10, 11) [Leuchtresonatoren; vgl. den Bericht von WENZEL: diese Zeitschr. 40, 27 (1927)]. Wesentlich ist aber für die Quarzuhrn, daß durch diese

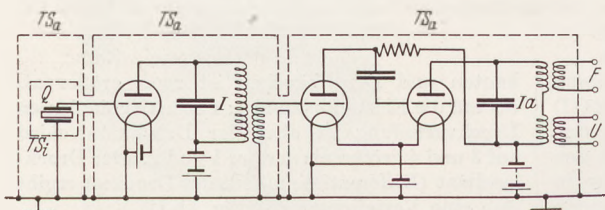


Fig. 3. Schaltung von Quarz, Steuersender und Verstärker.

Ladungen eine Rückkopplung mit dem Schwingungskreis einer Röhre möglich ist (vgl. unten). Da das Feld Druckänderungen hervorrufen soll, müssen die Elektroden in der Nähe der Druckbäuche (Bewegungsknoten) angeordnet werden. Wegen der Halterung ist jedoch ein Kompromiß notwendig (Fig. 1d I). Die gezeichnete Verbindung der Elektroden ist dadurch bedingt, daß nach Fig. 1b I gleichzeitig in der einen Hälfte Druck und in der andern Zug auftreten muß.

Man erkennt ferner leicht, daß bei O II und Elektrodenanordnung nach Fig. 1d II das Feld ebenfalls in den Druckbäuchen wirkt. Die Deutung der auftretenden Ladungen ist aber schwieriger. GIEBE und SCHEIBE (11) stellen folgende Überlegungen an. Auf den Flächen senkrecht zur X -Achse der Elemente 1 bis 4 (Fig. 1b II) entstehen infolge des Druckes durch das Feld etwa die

gezeichneten Ladungen. Die Ladungen auf den benachbarten Flächen der Elemente 1 und 2 heben sich aber wegen des nach Fig. 1b I annähernd gleichen Druckes auf die Elemente auf. Für die Elemente 3 und 4 gilt das aber nicht, da nach Fig. 1b II Druckunterschiede vorhanden sind. Je weiter man sich also von den Halterungspunkten entfernt, desto größere freie Raumladungen treten auf, und um so stärker ist das Leuchten in verdünnten Gasen. In Bezug auf beide Orientierungen zeigt sich also: O I ergibt bei Schwingungen eine Ladungsgröße und darum auch ein Leuchten gemäß Fig. 1b I (Druckverteilung); Stäbe in O II ergeben beides entsprechend dem Druckgradienten nach Fig. 1b II. Zusammenfassend ergibt sich also über die Elektrodenanordnung folgendes: Das Feld zwischen ihnen entsteht in den Druckbäuchen (Halterungspunkten) oder jedenfalls in deren Nähe; die Elektroden liegen ferner den durch den reziproken Effekt erzeugten Ladungen gegenüber, so daß diese auf die Elektroden und das angelegte Wechselfeld zurückwirken können.

Hinzugefügt sei noch, daß auch Deformationen in der Y -Richtung einen direkten Effekt ergeben, aber ebenfalls mit Ladungen auf den Flächen senkrecht zur X -Achse; beide Deformationen treten stets zusammen auf, doch mit entgegengesetzten Vorzeichen. Entsprechendes gilt auch für den inversen Effekt. Also: ein elektrisches Feld ist nur wirksam und wird nur erregt in Richtung der X -Achse; Deformationen aber sind wirksam und erregbar sowohl in Richtung der X -Achse als auch in Richtung der Y -Achse.

Die sekundär bei Schwingungen auftretenden Ladungen sind nun weiter ein Mittel (und das ist hier wichtig), um mit der sog. MEISSNER-Schaltung im Schwingungskreis einer Röhre und im Quarz wechselseitig ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen (wie bei den quarzgesteuerten Rundfunktensendern). Das soll zunächst an der folgenden übersichtlichen Schaltskizze erläutert werden (Fig. 2). Die Spannungsschwankungen an dem Kondensator des Schwingungskreises (Schwingungskreis soll stets durch SK abgekürzt werden) erzeugen im Quarzstab Q Deformationen, sowohl an dem

Ende 1 als durch die Schwingungen auch an dem Ende 2; die an 2 hierdurch auftretenden sekundären Ladungen erzeugen Spannungsschwankungen am Gitter, wodurch wieder die Schwingungen im Anodenkreis angeregt werden usw. (Ob die zum Gitter und zur Kathode führenden Leitungen gekreuzt oder ungekreuzt verlaufen, hängt von der Ordnungszahl der Quarzschwingung ab.) Dabei kann die Resonanzschwingung des Quarzstabes so groß werden, daß der Stab zerspringt. Das tritt nicht ein, wenn man die Röhrenspannungen niedrig wählt. Der SK wird um 4% verstimmt, damit sein Einfluß auf die erzeugte Frequenz klein bleibt.

2. Allgemeiner Aufbau der Quarzuhr. [In den Figuren 3 und 5 sind alle Schaltelemente zur Regelung der negativen Gitterspannung (ausgenommen Fig. 5, rechts beim Zeitgeber) und

zur Kontrolle und Herabsetzung der Röhrenbelastung fortgelassen. Die Beschreibung folgt (1), obgleich später einige noch nicht veröffentlichte Änderungen vorgenommen wurden; dadurch wird aber an dem grundsätzlichen Aufbau nichts geändert.] Der Steuerquarz Q (Fig. 3) in einem Glasrohr mit Wasserstoff von 20 mm Quecksilber (Fig. 4) und SK I des Senders sind durch einen Teil der Röhrenkapazität in der Schaltung nach PIERCE miteinander gekoppelt, so daß sich nach den Gesetzen der Röhre als Schwingungserzeuger die Schwingungen beider Kreise wechselseitig aufrechterhalten. Die Schwingung von SK I wird in zwei Stufen verstärkt; in der zweiten Stufe, Resonanzverstärkung, liegt im Anodenkreis SK Ia mit zwei Ledion-Achterspulen. Da die Frequenz für Meßzwecke im allgemeinen zu hoch ist, wird sie transformiert. Durch eine Spule bei U gibt SK Ia die Frequenz f weiter an eine Röhre mit

SK II (Fig. 5), f_2 genähert $f : 6$. Da also während der Anregung durch L_1 dem Gitter nicht nur die Frequenz f in SK Ia, sondern auch die von SK II dem Gitter aufgedrückt wird, kommt nach den Gesetzen der Frequenzteilung (13) SK II in Schwingungen mit streng $f_2 = f : 6$, annähernd $f_2 = 10000$. Die Schwingung in SK II wird in einer zweiten ganz entsprechend gebauten Stufe mit der Untersetzung 1 : 10 auf f_3 , annähernd 1000, reduziert und in einem dritten Kreis (2 parallele Röhren) abermals auf $f_4 = f_3 : 3$ oder annähernd 333. (Nach Umbau ist wenigstens bei einigen Uhren $f_3 = 250$.) Für gewisse Messungen können die Frequenzen f , f_2 , f_3 und f_4 den Ankoppelspulen F , F_2 , F_3 und F_4 entnommen werden. Zur weiteren Herabsetzung der Frequenz für Uhrzeitmessungen wird f_4 durch L_4 der Wicklung w eines Synchronmotors Sy zugeleitet. Dieser hat folgenden Bau (Fig. 6). Der Rotor aus Eisen, Durchmesser 80 mm, hat am Umfang 60 Polzähne (nach Umbau bei einigen Uhren 100). Der obere Teil der Achse dreht mittels Schneckenrades eine Kontaktstange S (35 mm, Fig. 5), Übersetzungsverhältnis 1 : 50. Die Stange trifft bei jeder Umdrehung (rund in 9 sec) die Kontaktfeder K von gleicher Länge. Der Stator besteht aus Hartgummi; die Außenseite hat eine Eindrehung für die Wicklung w im Kreis der Kopp lungsspule L_4 (Fig. 5). Zur Herabsetzung der Umdrehungszahl auf die Hälfte findet Vormagnetisierung durch Batterie im Kreis von L_4 und w statt. (Der Synchronmotor ist also eine Weiterentwicklung des sog. phonischen Rades.) Die bei dem Kontakt zwischen S und K ausgelösten Stromstöße werden einem Drehspulschreiber zugeleitet. Die durch dessen Schreibfeder auf dem Papierstreifen erzeugten Marken werden laufend gezählt und, soweit erforderlich, vermessen. Die Quarzuhr der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hat also kein Triebwerk mit Zeigern nach Art einer Pendeluhr. Hierdurch unterscheidet sie sich von der Quarzuhr von MARRISON (3), bei der die Umdrehungen des Synchronmotors

auf ein Uhrwerk übertragen werden. Ferner benutzt MARRISON keinen Quarzstab, sondern einen Quarzring. Die Sicherheit der Uhrangaben hängt von der Präzision ab, mit der die Strom-

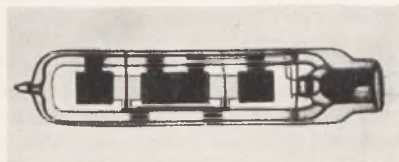


Fig. 4. Quarzstab im Glasrohr.

stöße auf die Schreibfeder des Drehspulschreibers erfolgen. In Verbindung mit folgender Anordnung, als Zeitgeber bezeichnet, erfolgt sie mit einer Konstanz von Bruchteilen von 0,001 sec. Der Kondensator C von $2 \mu F$ (Fig. 5 rechts) wird

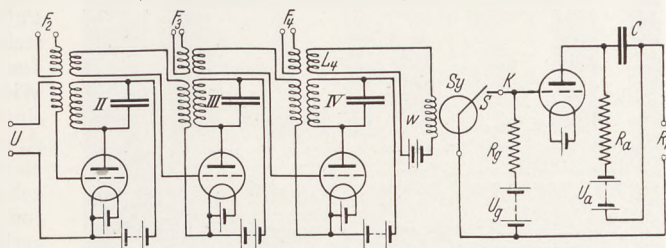


Fig. 5. Frequenzteiler und Zeitgeber.

durch U_a über R_a aufgeladen, kann sich aber über die Röhre nicht durch den Schreiber R_k entladen, da das Gitter der Röhre durch U_g über R_g zu stark negativ geladen ist. Beim Kontakt zwischen S und K von Sy verschwindet die negative

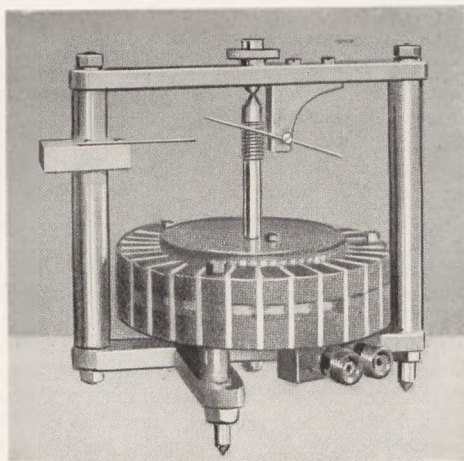


Fig. 6. Synchronmotor.

Gitterladung, und C wird durch R_k mit scharf markiertem Stoß entladen. Dadurch wird die Schreibfeder so schnell aus der Ruhelage bewegt, daß auf dem mit 100 mm/sec bewegten Papierstreifen ein praktisch rechtwinkliger Knick entsteht. Dieser kann mit einem Maßstab auf 0,1 mm oder 0,001 sec vermessen werden. Die Sicherheit

des zeitlichen Einsatzes der Marken liegt bei Bruchteilen dieser Größe, festgestellt mit der Papiergeschwindigkeit 15000 mm/sec eines Funkenchronographen. Man erkennt ferner, daß der Kontakt des Synchronmotors nur mit 0,01 mA belastet ist, also auch dadurch größte Präzision über lange Zeiten gesichert ist.

3. Maßnahmen zur Gangkonstanz. Da sich mit der Temperatur ändert, erfordert die Temperaturkonstanz größte Sorgfalt. Nach Voruntersuchung (8) ist der Temperaturkoeffizient α für O II (Fig. 1a I, U III/IV) kleiner als für O I (U I/II). Für O II ist α ferner dann am kleinsten,

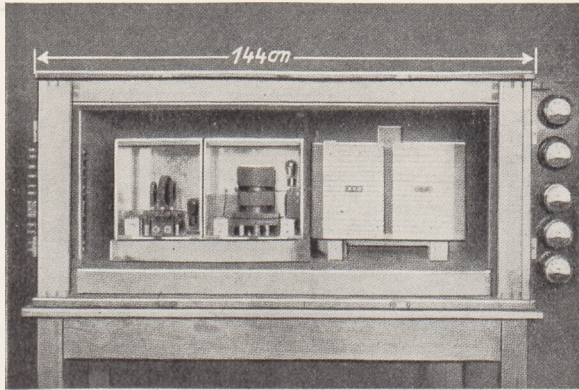


Fig. 7. Geöffneter äußerer Thermostat; man erkennt rechts den inneren Thermostaten mit der Heizspirale für den äußeren Thermostaten; anschließend den Steuersender mit hochgesetzter Senderöhre und dem großen Spulenträger für SK I und der Kopplungsspule zum Verstärker; links den Verstärker.

wenn die Seite der quadratischen Endflächen $\frac{1}{8}$ der Wellenlänge ist, also $\frac{1}{8} \cdot 91 = 11,4$ mm. Außerdem ist in O II α zwischen 35° und 37° ein Minimum, kleiner als $5 \cdot 10^{-8}$ je Grad; darum nimmt man in U III und U IV 36° als Arbeitstemperatur. Sie wird durch einen inneren und äußeren Thermostaten, TS_i und TS_a in Fig. 3, aufrechterhalten. Der innere nimmt nur den Quarz auf, der äußere (30°) auch noch den Steuersender und den Verstärker. Der innere Thermostat besteht aus Leitungs- und Dämpfungsschichten, nämlich Kupfer oder Aluminium bzw. Luft und Daunen. In eine der mittleren Leitungsschichten, einen vierkantigen Kupferblock, ist das Regelthermometer eingelassen. Die Wand des äußeren Thermostaten ist doppelt, mit Daunenfüllung. Fig. 7 gibt eine Ansicht des geöffneten äußeren Thermostaten. Die Regelung der Temperatur auf etwa $0,001^\circ$ geschieht durch ein Röhrenrelais nach Fig. 8 (stark vereinfacht gezeichnet¹). Bei der bezeichneten Stellung fließt in der Spule w des Relais R kein Strom, da die negative Gitterspannung durch U_g das verhindert; der Stromkreis mit der Heizspirale H ist also geschlossen. Hat H die Temperatur so weit erhöht, daß das Quecksilber im Thermometer die von oben in die Kapillare hineinführende Stahlspitze berührt, dann wird

die Blockierung der Röhre aufgehoben und H ausgeschaltet usw. Der Kontakt Quecksilber/Stahlschleife wird infolge des großen R_g auch nur mit etwa 0,01 mA belastet. Darum arbeitet er sicher und über lange Zeit konstant. Die Zahl der Schaltungen wird durch einen Telephonzähler Z parallel zu R gezählt; dadurch wird kontrolliert, ob das Relais in Ordnung ist. (Der schwache Strom durch Z fließt also auch, wenn das Relais geöffnet ist). Erhebliches Gewicht legen SCHEIBE und ADELBERGER auf die Feststellung, daß infolge des ungleichen Temperaturkoeffizienten der Quarze in U I/II und U III/IV eine Temperaturschwankung in beiden Typen sich unbedingt verschieden auf den Gang auswirken muß.

Wesentlich für gleichmäßigen Gang ist ferner die Konstanz der elektrischen Stromkreise. Der Strom wird aus dem Wechselstromnetz über Gleichrichter, Drosseln und Pufferbatterien entnommen; die Batterien stellen auch noch eine Reserve für 24 Stunden dar. Die Anodenspannung wird durch Widerstände so schwach wie nur möglich eingestellt, dasselbe gilt für den Heizstrom. Die Stromkreise werden durch Meßinstrumente so weit unter Kontrolle gehalten, daß nach Versuchen eine Änderung nicht schädlich wird. Durch die geringe Belastung der Röhren erhöht man ferner deren Lebensdauer und damit die Konstanz der Uhren.

Auch die Kopplung zwischen Q und SK I (Fig. 3) stört durch geringsten Energieverbrauch die Konstanz von f nicht. Sie ist klein, da nur ein Teil der Röhrenkapazität beide Schwingungen miteinander verbindet, die Elektroden einigen Abstand vom Quarz haben, die Röhrenbelastung äußerst gering ist und die Frequenzen nicht genau übereinstimmen. Wie bei der Temperatur ist auch hier vorteilhaft, daß die Kopplung bei beiden

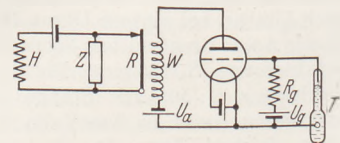


Fig. 8. Thermostatenrelais.

Uhrentypen verschieden ist, nämlich durch Orientierung zur elektrischen Achse (Fig. 1a), durch verschiedene Anordnung der Elektroden und verschiedene Feldverteilung im Quarz (Fig. 1c, d), so daß auch hiernach eine gleiche Änderung der äußeren Bedingungen in den elektrischen Schaltungen ungleiche Schwankungen in den Uhrgängen mit Sicherheit erwarten läßt.

Direkte Abhängigkeit vom Luftdruck ist nicht vorhanden, da der Quarz ja luftdicht im Glasrohr eingeschmolzen ist. Elektrodenabstand vom Quarz und Druck der Gasfüllung sind so gewählt, daß eine Störung durch Resonanz zwischen den Schwingungen der eingeschlossenen Luft und der des Quarzes nicht zu befürchten ist.

¹ Nach KOHLRAUSCH: Lehrbuch der Praktischen Physik, 17. Aufl., S. 788. 1936.

Verschiedenes Verhalten gegenüber äußeren Einflüssen ist auch deswegen zu erwarten, weil die beiden Quarzstäbe verschiedene Massen haben, ferner bei U I/II die elektrische Achse des Stabes lotrecht, bei U III/IV dagegen nordsüdlich verläuft. Gleiche Typen können dagegen bei Änderung der angegebenen Größen sich weitgehend gleichmäßig benehmen. [Nach dem Tätigkeitsbericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt — Physik. Z. 37, 278 (1936) — werden die Quarzuhr nach und nach aus dem schlecht temperierten Raum im III. Stock des Starkstromgebäudes in engster Nachbarschaft des Hochspannungslaboratoriums nach

wesentlichen Umkonstruktionen im Neubau in einen besonderen Uhrenkeller mit guter thermischer Isolation übergeführt werden, wo sie möglichst erschütterungsfrei und unter Fernhaltung elektrischer Leitungen aufgestellt werden. Man hofft, dadurch unkontrollierbare Störungen möglichst fernhalten zu können.]

4. Mittlere tägliche Gänge. Zur Erläuterung der Messungen sei zunächst folgendes angegeben. Die Quarzstäbe können nicht so genau geschliffen werden, daß der mittlere Sonnentag ein ganzzahliges Vielfaches der von dem Synchronmotor abgeteilten Zeitmarken ist. Der verbleibende Betrag sei g (Gang). Ideal wäre es, wenn dieser Betrag jeden Tag derselbe wäre. Aber leider ändert sich g fortgesetzt, und die Beachtung dieser Veränderungen wäre auch noch einfach, wenn sie der Zeit proportional wären, so daß der augenblickliche Gang $g = g_0 + \Delta g \cdot t$ ist, worin g_0 der Gang bei Beginn der Beobachtungsreihe ist und Δg die Änderung in der Zeiteinheit, in der t gemessen wird.

Der Vergleich der Quarzuhr mit der astronomischen Zeit geschieht durch das Nauener Koinzidenz-Signal um 13 Uhr, da die Physikalisch-Technische Reichsanstalt keine Meridiandurchgänge von Zeitsternen beobachtet. Das Signal wird durch eine der obigen ähnliche Anlage derselben Schreibfeder von R_k (Fig. 5) zugeleitet. Es wird angenommen, daß die Verzögerung der Registrierung gegenüber dem Signal selbst auf $1 \cdot 10^{-4}$ sec konstant ist. Da die Ko-Signale an aufeinanderfolgenden Tagen nur differentiell gegeneinander vermessen werden, ist der absolute Betrag der Verzögerung gleichgültig. Weil der Abstand der Signalzeichen nicht ganz gleichmäßig ist, wird aus einigen gemittelt. An den Signalen werden selbstverständlich die von den Zeitinstituten veröffentlichten Korrekturen angebracht; diese weichen aber bei den berücksichtigten 3 oder 4 Instituten bis zu 0,15 sec voneinander ab. Daraus wird ein Mittelwert gebildet, von dem Sicherheit auf 0,03 sec angenommen wird. Um den

täglichen Gang auf mindestens 0,001 sec sicher zu erhalten, muß man darum ein Intervall von 30 Tagen wählen, und man erhält dann nur einen sog. mittleren täglichen Gang für diese Periode. Dabei wird nach (4) eine mittlere Schwankung des Einzelwertes des täglichen Ganges von $0,002$ sec ($2 \cdot 10^{-8}$ der Tageslänge) gegen den mittleren täglichen Gang gefunden, und der bleibt durch fast 6 Monate konstant. Ferner wird gefunden, daß die Angaben einer einzigen Quarzuhr durchaus vergleichbar sind mit den Mittelwerten der vier Zeitdienstinstitute, die wahrscheinlich mehrere Uhren zur Ermittlung ihrer Fehlerangaben benutzen.

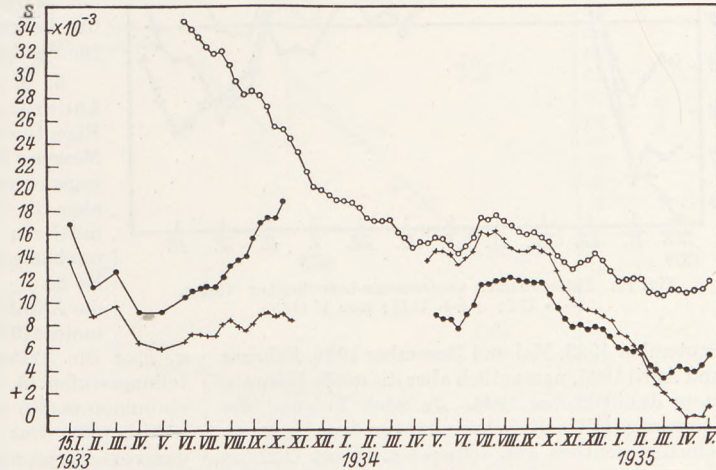


Fig. 9. Gemessene, nach den Zeitinstituten verbesserte Gänge.
... U I; +++ U II; ooo U III.

Das Ergebnis einer zweiten Meßreihe (5) an den U I, II, III ist in Fig. 9 dargestellt; dabei ist g_0 fortgelassen, da es nichts mit der Güte einer Uhr zu tun hat. Die 30-tägigen Mittelwerte sind für den 5., 15. und 25. Tag desselben Monats gezeichnet; der erste Wert ist das Ergebnis für die Zeit vom 21. des vorigen Monats bis zum 20. des laufenden Monats usw. U III, die mehr als 24 Monate ungestört lief, ergibt folgendes. 1. Es sind unregelmäßige Schwankungen vorhanden, die größte Juni/September 1934. 2. Dem Gesamtverlauf nach ist die Gangänderung nicht linear; wohl aber gilt dies jedenfalls genähert für die beiden Teilstrecken beiderseits der Jahreswende 1933/34. Nach der Methode der kleinsten Fehlerquadratsumme ergibt sich für den ersten Teil bis Ende 1933 $\Delta g = 0,0009$ sec/10d, von da ab $\Delta g = 0,0002$ sec/10d (man kann die Werte auch roh aus Fig. 8 ablesen) mit einer mittleren Abweichung von 0,0011 sec. (Über die Ursache dieser Gangänderung vgl. unten.) Die mit diesen Werten errechneten Unterschiede der aus den Angaben der Zeitinstitute gemittelten astronomischen Zeit und den Angaben von U III sind in Fig. 10 dargestellt, beginnend mit der Wiederinbetriebnahme von U I und U II. Die oben erwähnten Schwankungen sind deutlicher geworden, da die dem Δg entsprechende Neigung des Linienzuges verschwunden ist und die Y-Achse einen größeren Maßstab hat. Mit wenigen Ausnahmen über-

steigen die Schwankungen die für die astronomische Zeitbestimmung angenommene Fehlergrenze von 0,001 sec nicht.

U I und U II ergeben nach Fig. 9 im allgemeinen eine andere Neigung der Linienzüge (Δg). Trotzdem sind aber doch dieselben Schwankungen wie bei U III angedeutet, so August und Ende

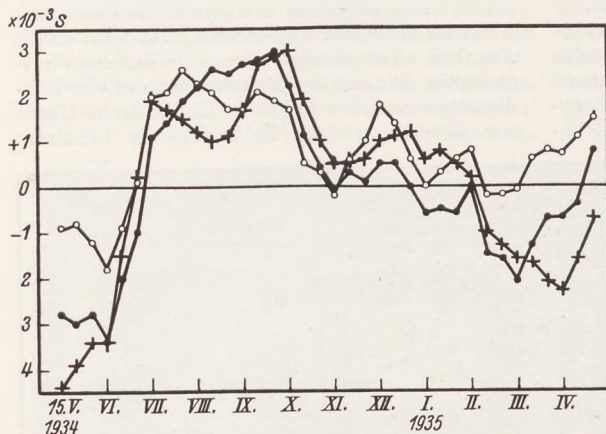


Fig. 10. Differenzen: gemessener-berechneter Gang.
.... U I; +++ U II; ooo U III

September 1933, Mai und Dezember 1934, Februar und April 1935, namentlich aber die große Schwankung Juni/Oktobre 1934. Je nach Neigung der Linienzüge fallen die Schwankungen dem Auge verschieden deutlich auf, schwach z. B. bei U II im Februar 1935. Eine Ausgleichrechnung wie bei U III

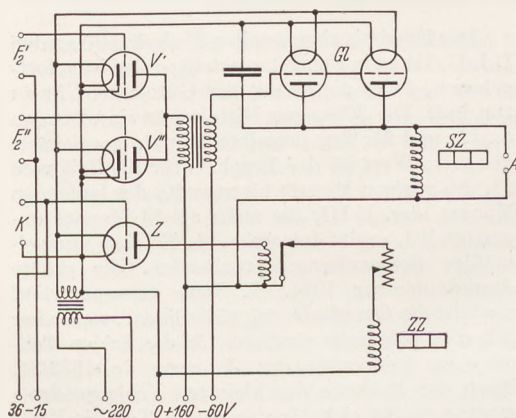


Fig. 11. Schwebungsapparatur.

ergibt für alle Uhren Fig. 10. Danach erkennt man den im allgemeinen gleichartigen Verlauf der Linien; die Streuungen der täglichen Werte übersteigen aber die Fehlergrenze zum Teil ganz erheblich. Es muß indessen beachtet werden, daß U I und U II nicht ungestört liefen. Die Störungen für die Gesamtmeßperiode waren folgende. Beide Uhren wurden in der Zeit von Oktober 1933 bis Mai 1934 umgebaut. Vorher war das innere Kontaktthermometer in U I gesprungen (vermutlich schon im August) und später wieder am 20. September 1934; hinzu kommt eine Gangstörung un-

bekannter Art am 10. 3. 35. In U II wurde am 20. 7. und 25./26. 12. 34 die Schalttemperatur des äußeren Kontaktthermometers geändert, und unbekannte Störungen traten auf am 1. 5. 34 und am 8. 4. 35 (vgl. darüber auch unten). Diese Störungen kann man dann wohl für die über die Fehlergrenzen hinausgehenden Streuungen der Uhren gegeneinander verantwortlich machen. Unabhängig von dieser Schwierigkeit scheint aber, wie bei Betrachtung der Fig. 9 hervorgehoben, die qualitative Bestätigung der in U III sicher angedeuteten Schwankungen durch U I und U II durchaus gegeben zu sein, und zwar nicht nur für die große Schwankung, sondern auch für die kleineren.

5. Momentane tägliche Gangänderung. Eine besonders wertvolle Eigentümlichkeit der Quarzuhren ist die Messung der Gangänderung zweier Uhren gegeneinander. Für ihre Anwendung muß aber die Frequenz f bekannt sein. (Die mittleren täglichen Gänge sind davon unabhängig). Man findet f folgendermaßen. Es ist $f = k \cdot a \cdot b \cdot c \cdot u \cdot p \cdot t$; darin ist k die Anzahl der Zeitmarken des Synchronmotors (9586) in der Zeit t (86396,072 sec), a, b, c die Teilungsverhältnisse der Frequenzteilungsstufen (6, 10, 3), p die Polzahl des Synchronmotors (60) und u dessen Untersetzungsverhältnis (50). Das ergibt $f = 59916$. Die Länge des vom Synchronmotor abgeteilten Zeitintervalls ist $t : k = 9,01273$ sec.

Die „momentanen“ täglichen Gangänderungen werden durch Schwebungen zwischen den Frequenzen zweier Uhren gefunden. Dafür werden die Frequenzen f_1 und f_2 der ersten Frequenzteilerstufe zweier Uhren über die Schaltelemente

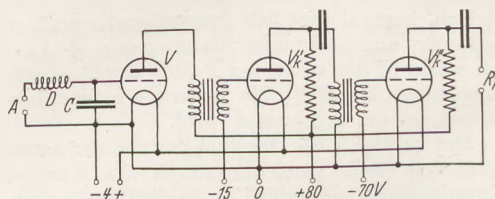


Fig. 12. Schwebungsverformer.

F_1 und F_2 (Fig. 5 und 11) entnommen; jede wird für sich in den Röhren V' und V'' (Fig. 11) verstärkt; in dem gemeinsamen Anodenkreis werden beide gemischt und darauf in zwei parallel geschalteten Röhren GL gleichgerichtet, so daß ein Schwebungsstrom der Frequenz $\Delta f = f_1 - f_2$ entsteht. Für rohe Kontrollen werden die Schwebungsstöße durch den Telephonzähler SZ gezählt und mit den Zeitmarken einer Uhr, die über K und einer Röhre Z in ZZ gezählt werden, verglichen. Exakte Messungen erfordern den Apparat nach Fig. 12, Schwebungsverformer genannt, wodurch die langsame Schwebungsfrequenz (etwa 1,5 Hz) in kurze, kräftige Stromstöße umgewandelt wird. Es sind dann die Buchsen A in Fig. 11 mit den Buchsen A in Fig. 12 verbunden. In der

ersten Röhre V wird f verstärkt und dann zwei in Reihe geschalteten Kondensatorenverstärkern V_k' und V_k'' zugeführt, die ganz entsprechend wirken wie der Zeitgeber nach Fig. 5. Die Stromstöße werden dann einem Drehspulschreiber Rk zugeleitet, auf dessen Schreibnadel sie mit gleicher Präzision wie die Uhrzeitmarken selbst wirken. Die Stromstöße setzen ein, sobald die durch den Anodenstrom der vorstehenden Röhre induzierte Spannung der negativen Gittervorspannung gleich wird. Soll sie also mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Schwebungsintervalle bei stets gleicher

rungen sofort nachweisen und verwerten lassen; im Gegensatz dazu erfordern die täglichen mittleren Schwankungen zunächst eine Zeit von 30 Tagen, und zum Abschluß der Messungen muß man dann noch die zum Teil recht spät erfolgenden Berichtigungen der Zeitdienstinstitute abwarten. Nach den Meßergebnissen in (4) ergaben 10 Messungen innerhalb einer Stunde Werte, die durchaus innerhalb der Fehlergrenze liegen; 96 Intervalle an zwei aufeinanderfolgenden Tagen zeigten größere Schwankungen, aber wohl nur, weil die Betriebszeit noch zu kurz war. Nach (5) waren die

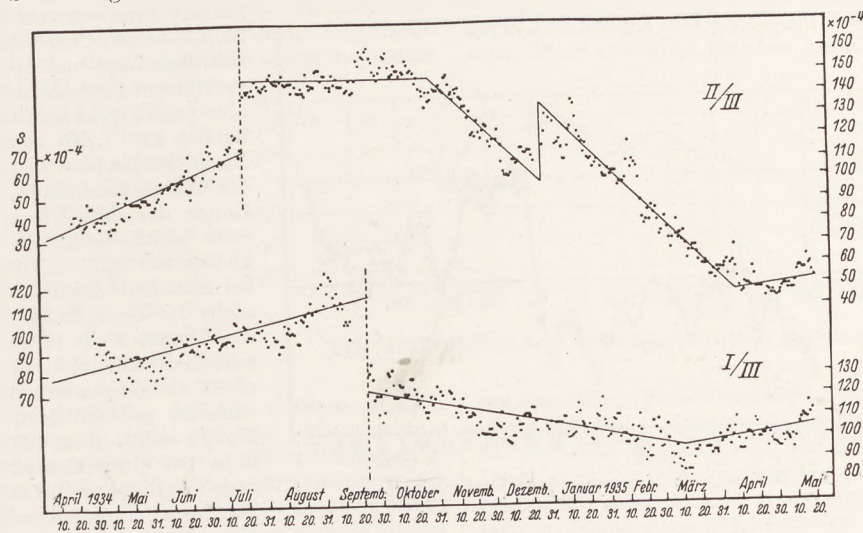


Fig. 13. Momentane Gangdifferenzen zwischen U I/III und U II/III.

Phase der Schwebungsfrequenz erfolgen, so muß die Amplitude sehr konstant sein; aus diesem Grunde wird sie ferner durch Drossel D und Kapazität C in der Gitterleitung der ersten Röhre geglättet.

Ist N die Anzahl der Schwebungen in der Zeit t , δt die Unsicherheit der Zeitmessung, dann ist $\Delta f = N : t$, die Unsicherheit von $\Delta f : t$ beträgt $\frac{\delta t}{t} \cdot \frac{N}{t}$ und die relative Unsicherheit $\frac{\delta f}{f} = \frac{\delta t}{t} \cdot \frac{N}{t} \cdot \frac{1}{f}$ (4). Nimmt man nun folgende hinreichend genäherten Werte: $N = 616$, $t = 360$ sec, $f = 10000$, $\delta t = 0,004$ sec (4 Messungen), so folgt $\delta f : f = 2 \cdot 10^{-9}$. Durch gruppenweise Vermessung aufeinanderfolgender Werte glauben SCHEIBE und ADELSBERGER diese Unsicherheit auf die Hälfte verringern zu können. Man erkennt an der Formel, daß es gleichgültig ist, welche Frequenzstufe man nimmt, da sich N und f einander proportional ändern; dagegen ist kleines N von Vorteil, also gute Übereinstimmung von f' und f'' . Der Wert 10^{-9} ergibt nun die Schwankung an einem Tage folgendermaßen. Nimmt man an, daß die relative Gangänderung von diesem Betrage (in 6 Min.) während des ganzen Tages gleichmäßig ist, so beeinflußt das die Gangänderung an einem Tage mit $2 \cdot 10^{-9} \cdot 86400$ oder rund $0,0001$ sec. Ungemein wertvoll ist, daß sich dadurch Gangände-

Gangänderungen selbst bei einer Meßreihe über 14 Tage nur von der Ordnung der Meßfehler, und sie blieben bei einer Steigerung der Genauigkeit auf $0,00001$ sec in der Meßzeit 12 Stunden innerhalb $0,0001$ sec. Demnach ist die Gangkonstanz der Uhren gegeneinander ganz vorzüglich.

Nach dieser Methode werden dann auch die Einflüsse von Änderung der Röhrendaten, der Stromkreise und der Temperatur auf die Uhrgänge untersucht, indem man diese Größen in einer oder mehreren Uhren ändert, aber mindestens in einer konstant läßt. Dabei hat man dann nach bisher nur zu einem kleinen Teil veröffentlichten Messungen die beiden schon oben angegebenen Tatsachen gefunden: Uhren gleichen Typs können bei gleichmäßiger Änderung der äußeren Bedingungen weitgehend gleichmäßige Gangänderungen erfahren; bei Uhren verschiedener Konstruktion, namentlich in Bezug auf die Quarzstäbe, erscheint dies ausgeschlossen.

Die oben in Bezug auf U III erwähnte Gangänderung $0,0007$ sec in 10 Tagen gegen die astronomische Zeit (Jahreswende 1933/34) wurde nach dieser Methode auch sofort festgestellt; die damals zum Vergleich laufende U IV zeigte sie nicht. Man wird sie darum nicht einer Änderung der astronomischen Zeit zuschreiben können, sondern deutet sie als bei fast allen Uhren auftretende Einlauferscheinung, die sich im allgemeinen als

mehr oder minder plötzliche Änderung der täglichen Gangänderung nach einer gewissen Betriebszeit bemerkbar macht.

Besonders wertvoll sind nach SCHEIBE und ADELSBERGER die „momentanen“ Gangänderungen von U I und U II in der Zeit ihrer zweiten Betriebsperiode, da in dieser die oben angegebenen Störungen vorhanden waren. Die gemessenen Werte sind in Fig. 13 dargestellt. Die Änderungen mit den Störungstagen machen sich sehr deutlich bemerkbar. Die Ergebnisse werden nun benutzt, um die Angaben von U I und U II zu korrigieren.

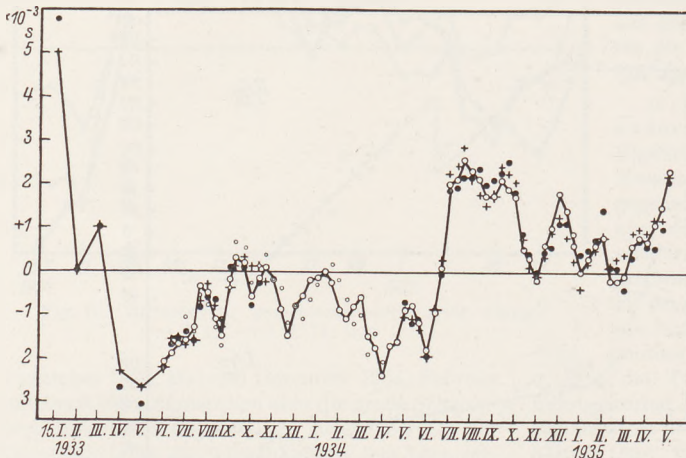


Fig. 14. Differenzen: gemessener-berechneter Gang.
..... U I; +++ U II; o o U III; o o U IV.

Es wird folgendermaßen geschlossen. Die Linienzüge in Fig. 10 sind durch rechnerischen Ausgleich entstanden; dafür ist Voraussetzung, daß nur zufällige Gangschwankungen auftreten. Die mit den Störungen verbundenen Änderungen der täglichen Gangänderung sind aber unbedingt systematischer Art, und damit ist die Voraussetzung für den der Fig. 10 zugrunde liegenden Ausgleich nicht gegeben. Darum wurde der Ausgleich der entsprechenden Teilzeiten mit den Werten gemäß den in Fig. 13 gezeichneten Geraden gegen U III durchgeführt, und zwar für beide Laufzeiten. Das Ergebnis ist Fig. 14, in der für die Zeit des Umbaus von U I und U II vergleichsweise U IV auftritt. Die Streuungen der Uhren untereinander liegen jetzt innerhalb der Meßgenauigkeit von 0,001 sec. Als wesentlich für die Beurteilung des Verfahrens seien aus (5) folgende Sätze wörtlich angeführt. „Wir sind uns darüber klar, daß ein solcher Ausgleich eine Ausrichtung der U I und U II nach U III mit dem gleichen Akzelerationsbetrag über die gesamte Beobachtungszeit vom 1. 5. 34 bis 31. 5. 35, wie wir ihn für die U III erhielten, ergibt. Aber nicht dies ist das Wesentliche, sondern wesentlich ist, ob innerhalb der von den Akzelerationsänderungen umfaßten Teilintervalle eine bessere Übereinstimmung im gesamten Kurvenverlauf der Fig. 14 erreicht wird, so daß dann der Gangsprung im Juni noch stärker aus dem Rahmen der gegenseitigen Gangschwankungen herausfällt.“

„Man könnte nun einwenden, daß ja durch die Ausrichtung der U I und U II nach U III die systematischen Gangfehler der U III, also auch diese besonders große Gangschwankung vom Juni, mit übernommen wird. Dem ist entgegenzuhalten, daß ja schon die unabhängige Ausgleichung nach Fig. 10 diese Gangverschiebung in voller Deutlichkeit bei allen drei Uhren zeigt, und daß ferner bei einem Zutreffen des Einwandes die verschieden langen Teilintervalle der Ausrichtung beider Uhren — für U I über das 5 Monate lange Intervall vom 1. 5. zum 20. 9. und für U II über das wesentlich kürzere Intervall vom 1. 5. zum 20. 7. — einen Unterschied in der zeitlichen Lage und in der Gangverschiebung ergeben müßten, der aber nach Fig. 14 keineswegs vorhanden ist.“ „Mit zunehmender Länge der Beobachtungszeit muß die Wahrscheinlichkeit, daß die Gänge der drei Uhren zufällig stets gleich beeinflusst werden, kleiner werden.“ „Dabei müßte bei Annahme des Falles a) (Ursache der Unregelmäßigkeiten in den Uhren, nicht im astronomischen Zeitmaß) auf die drei Quarzuhren ein gangändernder Einfluß wirksam gewesen sein, der wie Fig. 14 zeigt, ihre Gänge auch noch bei einer Gesamtveränderung von 0,004 sec bis auf wenige Zehntausendstel Sekunden, also einige Prozent genau gleich beeinflusst hätte.“

Nach SCHEIBE und ADELSBERGER wird also in Fig. 14 auf Grund weitgehend unabhängiger Kontrolle der Messungen durch U I und U II gegenüber Fig. 10 ein Ergebnis dargestellt, das durch Uhren verschiedener Typen mit unterschiedlichen Reaktionen gegenüber thermischen und elektrischen Einflüssen erhalten wurde.

6. Die Schwankungen des astronomischen Zeitmaßes. Fig. 9 und Fig. 10 ergeben Schwankungen der Uhrenangaben gegenüber dem Zeitmaß der Zeitinstitute, und zwar bei allen Uhren, d. h. solchen verschiedener Bauart, übereinstimmend nicht nur in der großen, sondern auch in den kleineren Schwankungen. Dabei wird die große Schwankung schon nach Fig. 10 von allen Uhren als über 0,003 sec liegend angegeben. Nach den Ausführungen unter 3. sind keine Einflüsse bekannt, die die verschiedenen Typen bis zu diesem Betrage gleichmäßig beeinflussen. Darum ist höchst wahrscheinlich, „daß die von den Zeitinstituten mitgeteilten Verbesserungen durch eine Schwankung in der astronomischen Tageslänge mit einem gegen die Quarzuhren systematischen Fehler behaftet sind.“ Derselbe darf auch als Ursache für die kleineren Zacken angesehen werden. Als bemerkenswert wird ferner hervorhoben, daß der großen Gangänderung Juni/September 1934 nicht eine gleiche Erscheinung im Jahre 1933 entspricht. Die Jahreszeit täuscht also nicht einen Effekt vor. SCHEIBE und ADELSBERGER sind der Auffassung, daß man vorläufig

keine Aussagen über den genauen Zeitpunkt und die wirkliche Größe der Schwankung der Tageslänge Juni/September 1934 machen kann, da die 30tägige Periode zu breit ist. Diese Periode wird durch die Unsicherheit in der Bestimmung der astronomischen Zeit durch Anschluß der Uhren an die Zeitsterne bedingt; hier muß also zunächst eine Verbesserung einsetzen. Quarzuhren können 0,001 sec schon in ganz erheblich kürzerer Zeit sicher ermitteln. In Fig. 9 und 14 zeigen U I/II in der Zeit vom Januar bis Mai 1933 eine ganz erhebliche Gangänderung; die Verfasser glauben aber, daß man dieselbe nicht mit Sicherheit als Verlängerung der astronomischen Tageslänge deuten könne, da die Kontrolle durch die anders gebaute U III fehlt und eine weitgehend gleichmäßige Beeinflussung von Uhren gleicher Type durch thermische und elektrische Einflüsse beobachtet wurde.

7. Die Bedeutung der Quarzuhren für Zeitbestimmung und Frequenzmessung. Wie zum Teil schon unter 4. angegeben, kann man mit $\Delta g = 0,0002$ sec/10d die beobachteten

Werte so darstellen, daß die mittlere zufällige Schwankung $\pm 0,0011$ sec und die maximale $\pm 0,0025$ sec nicht übersteigt. Mit dieser Genauigkeit lassen sich also die Gänge der Quarzuhren für die Zukunft im voraus angeben, demnach im Mittel auf etwa 0,001 sec genau. Dieser geringe Betrag ist auch Veranlassung dafür, daß die Deutsche Seewarte in Hamburg täglich um 11 Uhr 30 Min die Kontakte der Quarzuhren über Kabel erhält, um sie bei der Zeitbestimmung und Abgabe des Nauener Zeitzeichens 13 Uhr 1 Min zu verwenden. Die Verfasser halten für besonders wichtig einen Vergleich zwischen den relativen Gangschwankungen von Quarzuhren und astronomischen Zeitinstituten, mit dem Ergebnis, daß eine Quarzuhr 3 bis 4mal so genau wie die Angabe eines astronomischen Zeitinstituts sein soll. Die nach der Methode der momentanen täglichen Gangänderungen ermittelte große Frequenzkonstanz ist der Grund dafür, daß das Reichspostzentralamt in Berlin und drei Großfirmen täglich dauernd Normalfrequenzen erhalten können.

Anmerkung des Berichterstatters bei der Korrektur.

Verspätet bemerkte ich, daß schon im Dezember 1935 PAVEL und UHINK in den Astronomischen Nachrichten [257, 365—390 (1935)] die Arbeit: „Die Quarzuhren des Geodätischen Instituts in Potsdam“ veröffentlichten. Das Geodätische Institut hat mit Unterstützung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zwei Quarzuhren mit Quarzstäben in O II, also wie U III und U IV der Reichsanstalt, gebaut. Die Messungen wurden rein rechnerisch ausgeglichen, auch in Bezug auf die Gangänderungen nach Störungen (bei jeder Uhr einmal); denn die Verfasser glauben, daß

das Schwebungsverfahren zur Ermittlung der „momentanen“ Gangdifferenzen nur etwas aussagen kann „über die Genauigkeit der Uhr nach der ersten Frequenzteilung, hingegen alles unberücksichtigt läßt, was die weiteren Frequenzteilerstufen und der Synchronmotor zur Vergrößerung der Gangschwankungen beitragen können“. Das Ergebnis ist in Fig. 15 dargestellt; darin bezieht sich die ausgezogene Kurve auf die Potsdamer Korrekturen des Nauener Zeitsignals. Die gestrichelte gibt die Korrekturen an, die unter Benützung der Mitteilungen des Bureau International de l'Heure an die Potsdamer Uhrgänge anzubringen sind, um sie auf das Mittel von neun Observatorien zu beziehen. Man sieht, daß

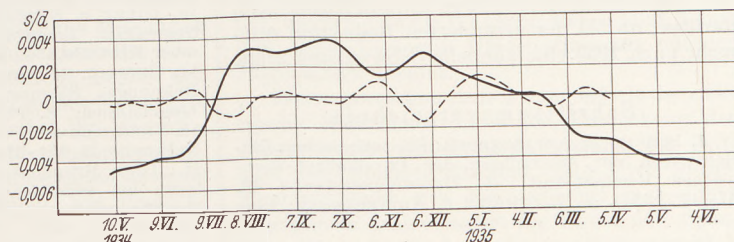


Fig. 15. Ergebnisse des Geodätischen Instituts in Potsdam.

der wesentliche Verlauf der Kurve dadurch nicht beeinflusst wird. — Im Gegensatz zu SCHEIBE und ADELBERGER glauben PAVEL und UHINK an eine jährliche Periode der nach ihnen nur im allgemeinen Verlauf der Kurve zum Ausdruck kommenden Schwankung des Zeitmaßes, da im Juli 1935 wiederum ein rascher Anstieg erfolgte (Werte werden in der Arbeit noch nicht mitgeteilt).

Außer einer Änderung der Rotationsgeschwindigkeit sind folgende Ursachen der Schwankungen des astronomischen Zeitmaßes denkbar: 1. Kontinentalverschiebung; nach SCHEIBE und ADELBERGER wäre für die Zeit Juni/Juli 1934 ein Betrag von 19 m erforderlich; 2. Polhöhenchwankungen. Nach PAVEL und UHINK ist in dem Teil des untersuchten Zeitraums, für welchen die Schwankungen schon bekannt sind, der Betrag zu gering, um den Ganganstieg zu erklären; 3. KEIL weist in einem Referat über die Arbeit von PAVEL und UHINK [Z. Instrumentenkde 56, 216 (1936)] auf den noch nicht hinreichend genau bekannten Einfluß von Vorgängen in der Troposphäre auf die atmosphärische Refraktion hin.

In Bezug auf den letzten Gegenstand folgt aus einer kürzlich mitgeteilten Untersuchung der Deutschen Seewarte in Hamburg [FREIESLEBEN und LANGE: Gesetzmäßige Verfälschung von Zeitbestimmungen bei bestimmten Wetterlagen. Ann. Hydrogr. Berlin 64, 60—64 (1936)], ebenfalls mit Quarzuhren, „daß der Neubau der Deutschen Seewarte 1935 an warmen Sommerabenden Seitenrefraktion verursacht, die die am Durchgangsinstrument der Deutschen Seewarte bestimmten Uhrstände um einige Tausendstel der Zeitsekunde vergrößerten“. Aber „selbst bei besonders ausgeprägten Verhältnissen kann man also aus der lokalen Refraktionsstörung im Mittel nur etwa

0,015 sec positive Verfälschung des Uhrstandes erwarten. Das ist weniger als der mittlere Fehler einer Zeitbestimmung, der 0,023 Sek. beträgt.“

Zur Frage des jahreszeitlichen Verlaufs der Schwankungen des Zeitmaßes machen ferner SCHEIBE und ADELSBERGER in einer vorläufigen Mitteilung [Physik. Z. **37**, 415 (1936)] darauf aufmerksam, „daß auch das Jahr 1935 einen dem Gangverlauf von 1934 durchaus ähnlichen Gangverlauf aufzuweisen hat“, und zwar ebenfalls mit einem sommerlichen Anstieg von 0,004 sec. Die mitgeteilte Kurve für U III weicht aber von der für U III in Fig. 14 erheblich ab, soweit beide die gleiche Zeit darstellen. Darüber wird wohl die in Aussicht gestellte ausführliche Veröffentlichung Aufschluß geben, namentlich auch darüber, ob bei der veränderten Reduktion nunmehr auch 1933 eine ähnliche Schwankung zeigt.

Schrifttumsverzeichnis.

1. SCHEIBE u. ADELSBERGER: Die technischen Einrichtungen der Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Z. Hochfrequenztechn. **43**, 37–47 (1934). — 2. SCHEIBE u. ADELSBERGER: Eine

Quarzuhr für Zeit- und Frequenzmessung sehr hoher Genauigkeit. Physik. Z. **33**, 835–841 (1933). — 3. SCHEIBE: Quarzuhren als Zeitnormal. Naturwiss. **21**, 506–512 (1933). — 4. SCHEIBE u. ADELSBERGER: Frequenz und Gang der Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Meßergebnisse I. Ann. Physik **18**, 1–25 (1933). — 5. SCHEIBE u. ADELSBERGER: Schwankungen der astronomischen Tageslänge und der astronomischen Zeitbestimmung nach den Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Meßergebnisse II. Physik. Z. **37**, 185–203 (1936). — 6. ADELSBERGER: Gänge der Quarzuhren und die Schwankungen der astronomischen Tageslänge. Forschg. u. Fortschr. **12**, 91 (1936). — 7. SCHEIBE: Piezoelektrische Resonanzerscheinungen. Z. Hochfrequenztechn. **28**, 15–26 (1926). — 8. STRAUBEL: Schwingungen und Temperaturkoeffizient von Quarzoszillatoren. Z. Hochfrequenztechn. **38**, 14–27 (1931). — 9. GIEBE u. SCHEIBE: Über Leuchtresonatoren als Hochfrequenznormale. Z. Hochfrequenztechn. **41**, 83–96 (1933). — 10. GIEBE u. SCHEIBE: Sichtbarmachung von hochfrequenten Longitudinalschwingungen piezoelektrischer Kristallstäbe. Z. Physik. **33**, 335–344 (1925). — 11. GIEBE u. SCHEIBE: Piezoelektrische Erregung von Dehnungs-, Biege- und Drillungsschwingungen bei Quarzstäben. Z. Physik. **46**, 607–652 (1927/28). — 12. FREIESLEBEN: Der heutige Stand der Zeitmessung. Naturwiss. **21**, 371–372 (1933). — 13. WINTER-GÜNTHER, H.: Über Mitnahmeercheinungen an Röhrengeneratoren bei verschiedenen Frequenzverhältnissen. Z. Hochfrequenztechn. **37**, 39–51 (1931).

5. Technik und mechanische Praxis.

Über elektrische Meßtechnik. Von WALTER JAEKEL in Berlin.

Ebenso wie die Fernmeldetechnik, über die in dieser Zeitschrift **50**, 38 (1937) zusammenfassend berichtet wurde, ist auch die elektrische Meßtechnik ein von Fernerstehenden weniger beachtetes Einzelgebiet der Technik. Zu einem Teil mag das daran liegen, daß elektrische Meßinstrumente meist nur klein sind, also z. B. auf den Bildern aus einem Kraftwerk kaum auffallen. Hier ist man viel eher geneigt, die riesigen Turbinen und Stromerzeuger zu beachten als die nur einen Bestandteil der Schalttafeln bildenden winzigen Instrumente. Und doch haben sie außerordentliche Wichtigkeit; zeigen doch erst die elektrischen Instrumente dem Betriebsmann, was in den Kesseln und Dampfrohren, in den Turbinen, Stromerzeugern und Leitungen vor sich geht. Welche Bedeutung elektrische Instrumente für Entwicklungsarbeiten auf allen Gebieten haben, bedarf wohl keiner Erläuterung. Erst genaue Messungen schaffen die zahlenmäßige Grundlage für jeden Fortschritt. Meßergebnisse sind sozusagen die Sprache, in der sich alle auf ein bestimmtes Ziel hinarbeitenden Forscher verständigen können.

Wir Deutschen haben ganz besonderen Grund, uns für die elektrische Meßtechnik zu interessieren, ist doch Deutschland das Ursprungsland nicht nur der Meßtechnik, sondern auch des gegenwärtig am weitesten verbreiteten Maßsystems. Es ist dies das von GAUSS und WEBER angegebene Zentimeter-Gramm-Sekunden-System, dem die in seinem Namen enthaltenen Einheiten zugrunde liegen. Meßinstrumente waren es auch, die zum ersten Male den Blick der Welt auf das erwachende Industrievolk der Deutschen lenkten. Es war in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, als englische Unternehmer daran gingen, Seekabel

zum Telegraphieren zu verlegen. Dabei dachten sie nicht daran, irgendwelche Messungen vorzunehmen. Sie waren zufrieden, wenn das Kabel während der Verlegung Strom durchließ, mußten dann allerdings erleben, daß schon nach wenigen Tagen die Verbindung gestört war. Erst nach dem Verlust vieler Millionen erinnerten sie sich eines Deutschen, der schon seit einigen Jahren behauptete, nur genaue Widerstandsmessungen könnten Aufschluß über die Beschaffenheit der Kabelisolation geben. Die Engländer hatten ihn verlacht und sein Streben als „scientific humbug“, als wissenschaftliche Wichtigtuerei, bezeichnet. Aber die verlorenen Millionen ärgerten sie doch so sehr, daß sie es auch einmal mit dem deutschen „Scharlatan“ versuchen wollten. Es war kein Geringerer als WERNER SIEMENS, der damals am Beginn seiner Laufbahn stand. Er erklärte sich bereit, das nächste Kabel bei der Herstellung und während des Verlegens zu überwachen, und das Ergebnis war, daß das Kabel von Sardinien nach Algier gut ins Meer kam und als erstes Tiefseekabel viele Jahre hielt. Der „scientific humbug“ hatte sich glänzend bewährt, und von da an mußte WERNER SIEMENS mit seinen Meßinstrumenten alle Kabellegungen der Engländer leiten. Geradezu als Hellsäher wurde er angestaunt, als er 1859 bei einem im Roten Meer verlegten Kabel die Lage eines Fehlers mit größter Genauigkeit bestimmen konnte. Das Geheimnis seines Erfolges lag darin begründet, daß er sich eine Widerstandseinheit geschaffen hatte, die ihm jederzeit genaue Messungen ermöglichte und vor allem ihre Vergleichung mit früher oder später vorgenommenen gestattete. Diese Einheit war die sog. Quecksilbereinheit, die aus einem 1 m langen, den Querschnitt 1 mm² aufweisenden Glasrohr bestand, das mit Quecksilber gefüllt war, also einem Metall,

das überall sehr rein zu haben ist und dessen Molekularbeschaffenheit unabhängig von der Art der Bearbeitung ist. Um die weitere Entwicklung vorweg zu nehmen: nachdem diese Quecksilber-einheit jahrzehntelang fast die einzig zuverlässige Maßeinheit gewesen war, wurde sie auch 1881 vom Internationalen Elektrotechnischen Kongreß in Paris für international verbindlich erklärt. Dabei erwies sich nur eine kleine Änderung der Länge nötig, um sie den Maßen für Spannung und Stromstärke, Volt und Ampere, anzupassen.

Wenn WERNER SIEMENS auch der erste war, der das Messen zu einer Technik erhob, so ist doch schon vorher elektrisch gemessen worden. Der Unterschied bestand darin, daß vorher das Messen weniger Aufgabe der Beobachtung als der Berechnung war, während WERNER SIEMENS Messungen in kürzester Zeit durchzuführen bestrebt war. Schon GAUSS und WEBER hatten zu Beginn der dreißiger Jahre außerordentlich genaue Messungen ausgeführt. Sie benutzten hierbei ihr Magnetometer, das sie durch eine Spule für den elektrischen Strom ergänzten. Den Magneten wählten sie recht schwer. Zum „Ablesen“ dienten, wie POGGENDORFF schon früher angegeben hatte, Spiegel und Fernrohr. Von einem eigentlichen Ablesen konnte dabei keine Rede sein. Zunächst wurde nämlich aus der Schwingungsdauer die Nullage berechnet und darauf, nach Anlegen des Stromes, aus der neuen Schwingungsdauer die Stromstärke. Man ersieht daraus schon, daß es auf Einfachheit der Messung gar nicht ankam; wichtig war für die Gelehrten nur die Genauigkeit, die sie dann auch in jahrzehntelanger Arbeit auf eine einzigartige Höhe brachten. Ein solches Galvanometer zu transportieren, war natürlich fast unmöglich, ganz abgesehen davon, daß es sich an jedem Orte wieder anders verhielt und alle Berechnungen von Grund auf hätten neu durchgeführt werden müssen.

Die Entwicklung der nächsten Zeit (um 1850) ist dadurch gekennzeichnet, daß man bemüht war, die ursprünglich infolge des hohen Gewichts der Magnete sehr lange Schwingungsdauer zu verkürzen, sowie den Einfluß des magnetischen Erdfeldes aufzuheben. Typisch ist hier das Galvanometer mit Glockenmagnet, bei dem ein zusammengebogener Magnetstab in der Ausbohrung eines Kupferkörpers schwingt und deshalb schnell zum Stillstand kommt. Das Zusammenbiegen des Magnetstabes hatte dabei den Zweck, den Magnetismus möglichst stark und die magnetische Achse recht kurz zu machen. Die Spulen hatten inwendig die Form von Halbkugeln und umgaben den kugelförmigen Dämpfungskörper. Später nahm man zwei dieser Systeme und erreichte dadurch, daß sie vom Erdfeld in verschiedener Richtung beeinflußt wurden, die Wirkung sich also aufhob. Später umgab man das ganze Galvanometer-System auch mit Hüllen aus weichem Eisen, um magnetische Störungen fernzuhalten. Eine solche Bauart war z. B. das bis in die letzte Zeit benutzte Panzergalvanometer nach DU BOIS. 1880 gab DEPREZ ein Instrument an, bei dem ein kammartig geformtes Eisenblech zwischen Spitzen drehbar gelagert war. Um dieses herum lag die Spule,

das ganze lag zwischen den Schenkeln eines Hufeisenmagneten. D'ARSONVAL schlug nun die wichtige Verbesserung vor, statt des Eisenbleches die Spule beweglich zu machen, wodurch das bekannte Drehspulgalvanometer in seiner Urform entstand. Später verbesserte es EDELMANN, indem er den Eisenkern fortließ und das ganze bewegliche System in ein Rohr einbaute, das in den Magneten gesteckt wurde. Es war der Ausgangspunkt für zahlreiche weitere Verbesserungen. Aus dieser Frühzeit der elektrischen Meßtechnik sind endlich noch die Bussolen zu erwähnen, die bekanntlich aus einer Magnetnadel und einer diese umgebenden drehbaren Wicklung bestehen. Mit einem solchen Instrument kann man das Verhältnis zweier Ströme aus dem Sinus oder Tangens des Winkels berechnen, um den man die Wicklung drehen muß, damit ihre Achse wieder in Übereinstimmung mit der Magnetnadel kommt.

Einen gewaltigen Aufschwung erhielt die elektrische Meßtechnik durch die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips, wodurch das Zeitalter der Starkstromtechnik eingeleitet wurde. Nunmehr ergab sich das Bedürfnis nach direkt anzeigenden Instrumenten für Strom und Spannung, die zudem in den Anlagen, also in unmittelbarer Nähe starker magnetischer und elektrischer Felder genau anzeigen sollten. Ausgangspunkt für die Entwicklung war einmal das Prinzip von DEPREZ-D'ARSONVAL, bei dem eine Spule im Felde eines permanenten Magneten gelagert ist. Ferner entstanden Instrumente mit Eisenkernen, bei denen ein Eisenstück der Stromstärke entsprechend in eine Spule hineingezogen wird. Eine der ältesten Ausführungen dieser Art stammt von F. KOHLRAUSCH. Lange Zeit haben sich ferner die sog. Torsionsdynamometer gehalten, die Strom, Spannung und Leistung eines Wechselstromes anzeigen können. Bei ihnen ist eine Spule drehbar aufgehängt. Bei Stromdurchgang bewegt sie sich, und die dadurch verursachte Torsion ist ein Maß für die Stärke des Stromes, bzw. je nach der Schaltung der Spannung oder Leistung. Sie wird durch Verstellen eines Knopfes festgestellt, wodurch die Verdrehung wieder aufgehoben wurde. Da inzwischen über die grundlegenden Maßeinheiten der Elektrotechnik auf verschiedenen internationalen Kongressen eine Einigung erzielt war, konnte man jetzt daran gehen, die Instrumente zu eichen, d. h. den Meßwerten bestimmte Ausschläge zuzuordnen und dies bei allen Stücken gleichmäßig auszuführen, wie es für eine fabrikmäßige Herstellung und damit weite Verbreitung nötig ist.

Um einen Überblick über das ausgedehnte Gebiet der Meßtechnik zu erhalten, kann man die vorhandenen Bauarten und Ausführungen der Instrumente nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen. Nach der Art der Meßwerke unterscheidet man Dreheisen-Instrumente, Drehspul-Instrumente, elektrodynamische Instrumente, Kreuzspul-Instrumente, Hitzdraht-Instrumente, elektrostatische Instrumente, Resonanz-Instrumente und Drehfeld-Instrumente. Dreheisen-Instrumente bestehen im wesentlichen aus einer feststehenden Spule, die von dem zu messenden Strom

durchflossen wird. Sie magnetisiert zwei Eisenstücke, von denen eines beweglich gelagert und der Stärke des Stromes entsprechend abgestoßen wird. Eine Kolbendämpfung, ein sich in einer Kammer bewegendes leichter Flügel, sorgt für Dämpfung, d. h. schnelles Stillstehen des Zeigers. Solche Instrumente sind für Gleich- und Wechselstrom zu gebrauchen, und zwar für Strom- und Spannungsmessungen. Die Art der Skalenteilung sowie der Meßbereich lassen sich weitgehend den Ansprüchen des Benutzers anpassen. Auch gibt es umschaltbare Instrumente mit mehreren Meßbereichen. Ferner werden sie als sog. astatische Instrumente ausgeführt, die von elektrischen Feldern nicht beeinflusst werden. Sie bestehen im wesentlichen aus zwei von dem störenden Feld in entgegengesetztem Sinne beeinflussten Meßwerken mit einer gemeinsamen Achse. Drehspul-Meßinstrumente enthalten eine im Felde eines Dauermagneten beweglich gelagerte Spule, die von dem zu messenden Strom durchflossen wird. Die Instrumente eignen sich nur für Gleichstrom. Sie werden für Strom- und Spannungsmessungen gebaut und haben eine vollkommen gleichmäßig unterteilte Skala. Drehspul-Instrumente sind die genauesten Anzeige-Instrumente. Elektrodynamische Instrumente bestehen grundsätzlich aus zwei Spulen, deren eine beweglich gelagert ist und sich unter dem Einfluß der Stromkräfte dreht. Je nachdem das Meßwerk von Eisen umgeben ist oder nicht, unterscheidet man eisenlose, eisengeschirmte und eisengeschlossene Ausführungen. Diese Instrumentenart eignet sich zu Strom-, Spannungs- und Leistungsmessungen bei Gleich- und Wechselstrom. Kreuzspul-Instrumente sind im wesentlichen Drehspul-Instrumente, bei denen jedoch mehrere gekreuzte Spulen benutzt sind. Diese Spulen sind so geschaltet, daß die Drehmomente einander entgegenwirken. Diese Instrumente werden dort benutzt, wo der Unterschied oder das Verhältnis zweier Gleich- oder Wechselströme unmittelbar gemessen werden soll, wie es z. B. bei Temperaturmessungen mittels Widerstandsthermometern nötig ist. Wird bei einem solchen Kreuzspulinstrument der Dauermagnet durch eine oder mehrere feste stromdurchflossene Spulen ersetzt, so erhält man einen Leistungsfaktormesser zum Bestimmen der bei Wechselstrom wichtigen Meßgröße $\cos \varphi$.

Neben diesen besonders gebräuchlichen Meßsystemen werden noch einige andere benutzt. Hitzdraht-Instrumente benutzen die Wärmewirkung des elektrischen Stromes und enthalten im wesentlichen einen dünnen Hitzdraht. Dieser verlängert sich unter der Einwirkung des elektrischen Stromes. Die Verlängerung wird durch mechanische Übersetzung sichtbar gemacht. Solche Instrumente werden für Strom-, Spannungs- und Leistungsmessungen vor allem bei Hochfrequenz benutzt. Elektrostatische Instrumente bestehen nach Art eines Kondensators aus zwei Platten, von denen die bewegliche sich unter dem Einfluß der Spannung bewegt. Sie werden vor allem zum Messen sehr hoher Spannungen benutzt. Resonanzinstrumente beruhen auf der Tatsache, daß ein System zu schwingen beginnt, wenn man es mit

Schwingungen seiner eigenen Frequenz erregt. Angewendet wird dieses Prinzip bei Frequenzmessern. Bei diesen beginnt die Zunge zu schwingen, deren Eigenschwingung der Periodenzahl des einem Magneten zugeführten Wechselstromes entspricht. An Bedeutung verloren haben die Drehfeld-Instrumente. Bei ihnen dreht sich eine leichte Aluminiumtrommel oder -scheibe unter dem Einfluß feststehender Wechselstrom-Elektromagnete.

Nach den Meßeigenschaften teilt man die elektrischen Meßgeräte ein in Präzisions-Instrumente und Betriebsmeßgeräte. Erstere sind besonders meßgenau und meßempfindlich, wie es z. B. bei den Spiegel- und Lichtmarkengalvanometern der Fall ist; sie werden durchweg als tragbare Instrumente ausgeführt und in Laboratorien gebraucht. Betriebsmeßgeräte sind mehr mit Rücksicht auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Überlastung und sonstige Einflüsse des Betriebes konstruiert. Sie werden tragbar und zum festen Einbau bestimmt ausgeführt.

Nach der Art der Benutzung unterscheidet man tragbare Meßgeräte und festeingebaute Meßgeräte. Tragbare Instrumente werden z. B. zu Untersuchungen in Anlagen und bei Apparaten sowie bei Versuchsaufbauten benutzt. Sehr viel verwendet werden Instrumente, die für mehrere Meßbereiche zu verwenden sind. Die zur Erweiterung der Strom- und Spannungsbereiche nötigen Neben- bzw. Vorwiderstände sind dabei häufig in das Instrumentengehäuse eingebaut und werden durch einen Drehschalter nach Bedarf angelegt. Solche Instrumente werden von Bastlern viel benutzt. In anderen Fällen werden die Widerstände außen an das Instrument angelegt und mit diesem in einem Meßkoffer untergebracht. Häufig werden in tragbare Instrumente Stromquellen eingebaut, um die Benutzung zu erleichtern. Es gibt Instrumente mit eingebauten Batterien und mit Kurbelinduktoren. Sie dienen hauptsächlich als Leitungsprüfer, Isolationsmesser, Widerstandsmesser und Erdungsmesser. Fest eingebaute Meßgeräte sind in erster Linie Schalttafel-Instrumente und die zur Anbringung an Apparaten und Maschinen (z. B. Werkzeugmaschinen) bestimmten. Deutlich sichtbare Zeiger und übersichtliche Skalen sind neben den meßtechnischen Eigenschaften die wichtigsten Kennzeichen dieser Meßgeräte. Wo viele Instrumente auf kleinem Raum untergebracht werden müssen, wie es bei Schaltzentralen der Fall ist, verwendet man Instrumente in viereckigen Gehäusen und Profil-Instrumente, bei denen nur Skala und Zeiger nach vorn liegen. Für rauhe Betriebe (z. B. Kesselhäuser) gibt es Einbau-Meßgeräte in wasserdichten Gehäusen. Häufig werden mehrere Meßgeräte zu einem Block vereinigt, wie es z. B. bei Meßgeräten zum Parallelschalten der Fall ist. Diese bestehen meistens aus einem Doppelfrequenzmesser, einem Doppelspannungsmesser und einem Synchronoskop. Sollen die Angaben eines Meßgerätes aus sehr großer Entfernung zu erkennen sein, so verwendet man ein Rieseninstrument. Besonders gebräuchlich sind Säulen-Instrumente, bei denen eine Lichtsäule (etwa 4 m hoch) durch ein bewegliches Band dem Meßwert entsprechend

abgedeckt wird. Die Bewegung des Bandes besorgt ein Motor, der von einem anderen Meßgerät entsprechend gesteuert wird.

Je nachdem, wie die Angabe des eigentlichen Meßwerkes sich auswirkt, unterscheidet man anzeigende und schreibende Instrumente (auch Registrierinstrumente genannt). Zur Anzeige dient meistens ein am Meßwerk angebrachter Zeiger, doch wird dieser häufig durch einen Lichtstrahl ersetzt, wie es bei Spiegel- und Lichtmarkengalvanometern der Fall ist. Bei schreibenden Instrumenten führt das Meßwerk eine mit Tinte gefüllte Feder über einen von einem Uhrwerk oder Motor fortbewegten, mit einer entsprechenden Einteilung versehenen Papierstreifen. Falls die Kraft des Meßwerkes nicht ausreicht, die Reibung zwischen Papier und Feder zu überwinden, wendet man das Fallbügelprinzip an. Bei solchen Fallbügelschreibern drückt ein Fallbügel den Zeiger in regelmäßigen Abständen auf einen Papierstreifen, der über ein Farbband geführt wird. Vielfach werden solche Geräte zur Überwachung mehrerer Meßstellen gebraucht. Sie schreiben die Punktkurven in mehreren Farben und heißen deshalb Mehrfarbensreiber. Neuerdings baut man auch einen kleinen Motor als Hilfskraft ein, der die Feder führt. Solche Geräte werden z. B. zu Temperaturaufzeichnungen gebraucht. Zu den aufzeichnenden Meßgeräten sind auch die Oszillographen zu zählen, bei denen ein Lichtstrahl auf lichtempfindlichem Papier die Meßwerte kenntlich macht. Als Ergebnis letzter Entwicklungsarbeiten sind Gleichrichter- und Thermomouformer-Meßgeräte zu nennen. Gleichrichter-Instrumente enthalten einen Trockengleichrichter und werden benutzt, um die hohe Genauigkeit von Drehspulmeßwerken auch bei Wechselstrom ausnutzen zu können. Thermomouformer-Meßgeräte werden vor allem bei Hochfrequenz benutzt. Bei ihnen heizt die Hochfrequenz ein Thermoelement, dessen Spannung gemessen wird.

Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, daß die in Deutschland hergestellten und benutzten Instrumente mit Symbolen versehen sind, die die Genauigkeit, die Prüfspannung und die Art des Meßwerkes bezeichnen. Die Genauigkeit drücken Buchstaben aus. *E* und *F* sind Feinmeßgeräte, *G* und *H* sind Betriebsmeßgeräte. Ein farbiger Stern bezeichnet die Höhe der Prüfspannung. Symbole drücken die Art des Meßwerkes aus, ob z. B. ein Drehspul- oder Dreheisenmeßwerk eingebaut ist. Ferner wird ebenfalls durch ein Symbol die Stromart bezeichnet sowie endlich noch die Gebrauchslage, ob z. B. ein Instrument senkrecht oder schräg einzubauen ist.

Das Anwendungsgebiet elektrischer Meßinstrumente ist heute fast unübersehbar groß, und zwar vor allem deshalb, weil man elektrische Meßverfahren nicht nur dort anwendet, wo elektrische Werte zu messen sind, sondern überall dort, wo schwierige Messungen einfach ausgeführt werden sollen. Dafür einige Beispiele: Hohe Temperaturen mißt man gegenwärtig fast ausschließlich auf elektrischem Wege, vor allem deswegen, weil man die Temperaturen dann an beliebiger Stelle

anzeigen und aufzeichnen lassen kann. Die Zusammensetzung von Rauchgasen, die für die Bedienung von Kesselfeuerungen wichtig ist, stellt man auf elektrischem Wege fest. In Walzwerken ermittelt man den Walzendruck auf elektrischem Wege, Schwingungen und Erschütterungen von Bauwerken, Flugzeugen usw. mißt man elektrisch. Die Gummierung von Cord-Bahnen, die zu Autoreifen verarbeitet werden, macht man mit Hilfe einer elektrischen Meßanordnung gleichmäßig. Sogar zum Einregeln von Taschenuhren dient eine elektrische Meßanordnung, die von Siemens & Halske entwickelte sog. Zeitwaage. Elektrische Meßinstrumente messen die Meerestiefe und die Schiffsgeschwindigkeit, sie messen Milliontelmillimeter und lenken unseren Blick ins Innere der Werkstoffe. Mit einem elektrischen Meßinstrument mißt der Photograph die Belichtungszeit und der Beleuchtungstechniker die Beleuchtungsstärke. Die komplizierten Arbeitsverfahren der chemischen Industrie, z. B. bei der Gewinnung neuer Rohstoffe, wären ohne ständige Überwachung mit elektrischen Meßinstrumenten — hauptsächlich sind es Druck-, Temperatur- und Mengemesser — kaum möglich, vor allem die Erzielung gleichmäßiger Erzeugnisse wäre nicht durchzuführen.

Die deutsche Meßinstrumententechnik erfreut sich in der ganzen Welt eines ausgezeichneten Rufes, da sie, gestützt auf einen Stamm hervorragender Facharbeiter und auf besonders gewandte Laboratoriums- und Entwicklungsingenieure, Erzeugnisse bester Beschaffenheit liefert. Bewundert wird auch in der ganzen Welt, wie es die deutsche Meßinstrumententechnik versteht, neue Aufgaben anzufassen und für alle möglichen Zwecke entsprechende Instrumente zu schaffen. Deutsche Meßinstrumente werden in allen Kulturländern benutzt, sie befinden sich auf Schiffen und in Flugzeugen ebenso wie in Kesselhäusern und Kraftwerken. In gleicher Weise dienen sie dem Betriebsmann wie dem Forscher und künden von deutscher Tüchtigkeit. Sie sind ein wichtiges Ausfuhrgut, weil sie nur geringe Mengen Rohstoffe, dafür aber einen erheblichen Anteil deutscher Arbeitskraft enthalten.

Vogelflug und Technik des Fliegens. III¹. Von KONRAD LORENZ in Altenberg.

III. Das Rütteln.

Als Rütteln bezeichnet der Jäger wie der Ornithologe jene Flugart, die es dem Vogel ermöglicht, auch in ganz stiller Luft am Platze stehen zu bleiben. Bei dieser Flugweise wirkt der Flügel wie die Schraube eines Hubschraubers oder Helikopters, die einen Zug lotrecht nach oben, in der Richtung ihrer Drehungsachse ausübt. Beim Gleitrudern beruht der Aufwärtsschlag der Flügel ganz sicher nicht auf aktiver Muskelwirkung, sondern erfolgt sogar entgegen dem Widerstande der Abschlagnuskulatur, die auch während seiner Dauer den Körper trägt. Dagegen ist der Auf-

¹ Bericht I vgl. diese Zeitschr. 50, 33 (1937); Bericht II: 40, 78 (1937).

schlag beim Rütteln nicht nur aktiv, sondern hat sogar in ganz wesentlichem Ausmaß Arbeit zu leisten, und zwar in einzelnen Fällen nahezu ebenso viel wie der Abwärtsschlag der Flügel. Der Flügel wirkt beim Auf- und beim Abschlage wie das

Es sieht also beim Platzrütteln beim Abschlage die Unterseite, beim Aufschlage die Rückenseite des Flügels nach abwärts und empfängt den Druck der verdichteten Luft, die den Vogel trägt. Umgekehrtes gilt natürlich für den Sog auf der jeweils



Fig. 8. Bilder vom Rüttelaufschlag: a) nach vorn und oben davonrüttelnder Seidenreiher; b) rüttelnd sich niederlassender Pelikan (aus BERNATZIK: „Riesenpelikane“. L. W. Seidel, Wien); c) ebensolcher Fischadler; d) ebensolcher Löffler; e) ebensolcher Edelreiher.

Blatt eines Propellers, in der Schlagachse vortreibend. Demgemäß erfolgt beim Rütteln am Platze der Flügelschlag um eine annähernd lotrechte Achse, d. h. der Abschlag ist genau genommen ein Vorwärtsschlag, der Aufschlag ein Rückschlag. Da der Propeller des Vogelflügels nach jedem Takte seine Drehrichtung ändert, muß sich mit ihr auch jedesmal der Winkel umstellen, in dem die Flügelfläche zur Schlagachse steht.

nach oben gekehrten Seite des Flügels; ob der Druck oder der Sog den größeren Teil der heben- den Arbeit übernimmt, ist hier unwesentlich. Da der Abschlag mit sehr viel größerer Kraft geführt wird als beim Gleitrudern, ist die passive Ausbiegung des hinteren Flügelrandes naturgemäß viel stärker als bei jenem. Beim Aufschlage finden wir Verhältnisse vor, die noch stärker von denen des Gleitruderns abweichen. Während bei diesem

nämlich der Luftdruck auch beim Aufschlag auf die Unterseite des Flügels wirkt, belastet er beim Rüttelaufschlage die Rückenseite des Flügels, die in in diesem Fall allerdings, zumindest beim Am-Platze-Rütteln, stark nach unten zieht. Da der Luftdruck nicht nur den Flügel als Ganzes, sondern auch jede einzelne Schwungfeder für sich um die Achse ihres Kieles drehen kann, so sehen wir beim Rüttelaufschlag ein Auseinanderweichen der Federn, ein Sich-Öffnen der sog. „Fahnenventile“ des Flügels. Außerdem aber wird der Handfittich als Ganzes aus der Ebene des übrigen Flügels heraus und mit dem Hinterrande nach vorn gedreht. Diese Drehung kann so hohe Grade erreichen, daß die innerste Handschwinge bauchwärts weit von der äußersten Armschwinge abweicht, der Hinterrand des Flügels also eine stufige Unterbrechung erfährt. Dieses Auseinanderweichen sieht man besonders deutlich am rechten Flügel des einfallenden und im Bremsen rüttelnden Pelikans in Fig. 8, ebenso aber an allen anderen Vögeln auf dieser Abbildung. Ich bringe so viele Beispiele, um zu zeigen, daß es sich bei dieser Stellung nicht um eine photographisch festgehaltene Zufallslage handelt. Wodurch die Drehung der einzelnen Schwungfedern zustande kommt, haben schon viele Verfasser auseinandergesetzt: wegen der größeren Breite der Innenfahne der Feder liegt ihr Druckmittelpunkt in einem beträchtlichen Abstände von ihrer Unterstützungslinie, die durch die Lage des Kieles festgelegt ist. Dadurch entsteht ein Drehmoment, das mit der Größe des Druckes wächst und, weil der Druck ebenso wie die Lineargeschwindigkeit mit dem Abstände von der Schlagachse größer wird, an der Spitze des Flügels die größten Ausmaße erreicht. Die hierdurch erzeugte Verwindung verleiht der Federfläche eine ähnliche Form, wie sie der Flügel eines Propellers besitzt, dessen einzelne Querschnitte mit der Achse seiner Drehung um so stumpfere Winkel einschließen, je weiter sie von ihr entfernt liegen. In Fig. 9 ist diese Verdrehung durch die senkrecht auf die Fläche der ersten Handschwinge stehenden kleinen Pfeile deutlich gemacht. Der Flügel wird also in eine große Zahl schmalen, gleichsinnig wirkender Propellerflügel zerlegt.

Auch beim Rüttelfluge finden sich nach dem Gesagten nicht die Verhältnisse verwirklicht, die von jenen Verfassern für „den Flug“ im allgemeinen angenommen wurden, und wonach sich, wie S. 78 von EXNER erwähnt wurde, der Auftrieb des schlagenden Flügels aus der Differenz seiner Widerstände bei Auf- und Abschlag errechnet. Der Vortrieb einer losfliegenden Taube ist nach einer Berechnung von LILIENTHAL rund 15mal so groß wie der nach dem vorerwähnten Verfahren errechnete sein sollte. Dies erklärt sich zwanglos aus der Tatsache, daß der Aufschlag eben in Wirklichkeit kein Arbeit verschwendender Leertakt ist, sondern auch Arbeit leistet, ja, bei den am meisten an den Rüttelflug angepaßten Vogelformen dem Abschlag an Arbeitsleistung gleichkommt.

Was mich zuerst auf die arbeitleistende Wirkung des Rüttelaufschlages aufmerksam machte,

war der Umstand, daß ganz ähnlich wie beim Aufschlag im Gleitrudern, ein Absinken des Vogelkörpers während der Dauer des Nachobengehens der Flügel auch bei ganz langsam schlagenden Formen nicht zu beobachten ist. Ferner fiel es mir auf, daß der Vogel zum Aufschlage nahezu ebenso lange Zeit braucht wie zum Abschlage: Man empfängt ganz und gar nicht den Eindruck, daß das Tier sich nach dem Abschlage beeilt, in die Ausgangsstellung zu einem neuen Abschlage zurückzukehren, was es unbedingt tun würde, gälte es einen Zeitraum zu überbrücken, während dessen sein Körper der Schwerkraft widerstandslos preisgegeben ist. Wenn der Aufschlag den Vogel

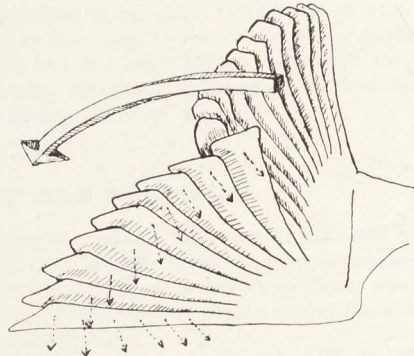


Fig. 9. Schema zu Fig. 8, insbesondere zu 8a. Man beachte das Hervortreten der innersten Handschwinge. Die kleinen Pfeile bezeichnen ungefähr die Richtung des auf jeder Handschwinge lastenden Druckes.

gar nicht unterstützte, ja, wenn er ihn auch nur wesentlich schwächer stützen würde, als der Abschlag es tut, so müßte man ein Bestreben sehen, die Dauer des Aufschlages zu beschränken, etwa so, wie ein hinkender Mensch durch rascheres Vorsezen des gesunden Beines die Zeit zu verkürzen trachtet, während der er das weniger tragfähige belastet.

Während man ein Auf- und Abschwngen des Vogelkörpers beim Am-Platze-Rütteln nicht unmittelbar beobachten kann, sieht man bei sehr langsam schlagenden Formen, z. B. beim Fischreiher, beim Bussard u. ä. ohne weiteres ein Nachvorrücken des Körpers beim Auf- oder genauer gesagt beim Rückschlage, und umgekehrt ein Nachhintergehen beim Ab- bzw. Vorschlage. Diese Bewegungen sind leicht zu erklären, da ja trotz der Verdrehungen des Flügels beim Auf- und Abschlage neben der in beiden Fällen erzeugten Aufwärtskomponente des auf die schiefe Ebene des Flügels wirkenden Druckes auch eine schädliche, oder wenigstens nicht hebende Vorwärtskomponente beim Aufschlage, und Rückwärtskomponente beim Abschlage wirksam werden muß. Da diese Bewegungen in der Waagrechten zu sehr kleinen Ausschlägen führen und sich außerdem gegenseitig aufheben, so sieht man an schnell schlagenden Vogelarten nicht eben viel von ihnen. Wenn man sie aber von den vorerwähnten „Zeitlupenvögeln“ her kennt, so kann man eine kleinschlägig rüttelnde Vor- und Rückwärtsbewegung des Vogel-

körpers auch bei schneller schlagenden Formen deutlich wahrnehmen. Der scharfen Naturbeobachtung der alten Weidmänner möchte man es zutrauen, daß sie daraus den Ausdruck „rütteln“ gebildet haben!

Entspräche der Flügel in seiner Wirkung beim Rüttelflug vollkommen dem oben gebrauchten Bild eines Propellers, der, anstatt sich in einer Richtung weiterzudrehen, mit einer jedesmaligen Umstellung des Anstellwinkels seiner Blätter hin- und herpendelt, so müßte die durch ihn erzeugte Kraft genau in der Richtung

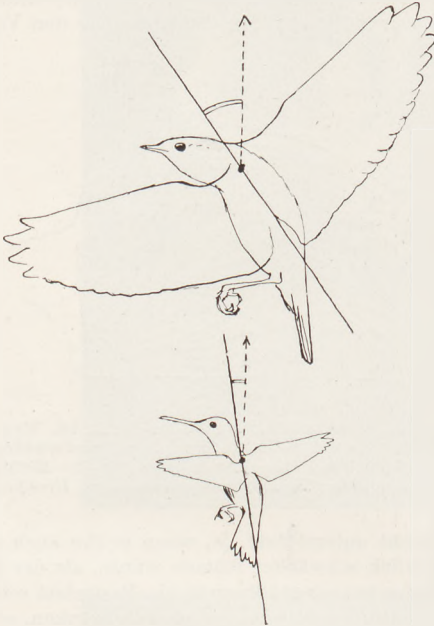


Fig. 10. Am Platze rüttelnder Sperlingsvogel (oben) und ebensolcher Kolibri (unten). Der Winkel zwischen Flügelschlagachse und Richtung des Rüttelvortriebes wird um so geringer, je besser der Vogel rüttelt, je mehr die Wirkung des Aufschlages der des Abschlages sich nähert. Beim Kolibri fallen Schlagachse und Richtung des Rüttelvortriebes fast zusammen. Die Masse der Aufschlagmuskulatur ist in diesem Falle gleich der der Niederschlagmuskulatur (der Kolibri nach Photographien von ZEDTWITZ).

seiner Schlagachse wirken. Das ist nun nicht genau der Fall. Fig. 10 zeigt an einem schematisch dargestellten, am Platze rüttelnden Rotschwanz und an einem ebensolchen Kolibri die verschiedene Größe des Winkels, den die Achse des Flügelschlages mit der Richtung der durch ihn erzeugten Kraft einschließt. Den Grund dafür, daß die Schlagachse nicht mit der Richtung der Kraft zusammenfällt, möchte ich darin sehen, daß die rückwärtstreibende Komponente des mit geschlossenen Fahnenventilen ausgeführten Abschlages größer ist als die bauchwärts treibende des Aufschlages, bei dem der Flügel in viele kleine und stärker verdrehbare Einzelflächen zerlegt ist. Theoretisch müßte man nun erwarten, daß es für den Rüttelflug am günstigsten sei, wenn die Wirkungen von Auf- und Abschlag einander möglichst gleich kämen, so daß die Divergenz von Schlag-

achse und Richtung der vortreibenden Kraft möglichst zum Verschwinden gebracht würde. Der Flügel müßte bauch- und rückenwärts annähernd spiegelbildlich werden, die Muskulatur für Auf- und Abschlag, die in diesem Idealfall einem reinen Vor- und Rückschlage gleich kämen, müßte sich genau die Waage halten. Alle diese Forderungen finden sich nun bei den Kolibris in nahezu vollkommener Weise verwirklicht, und diese können tatsächlich von allen Vögeln

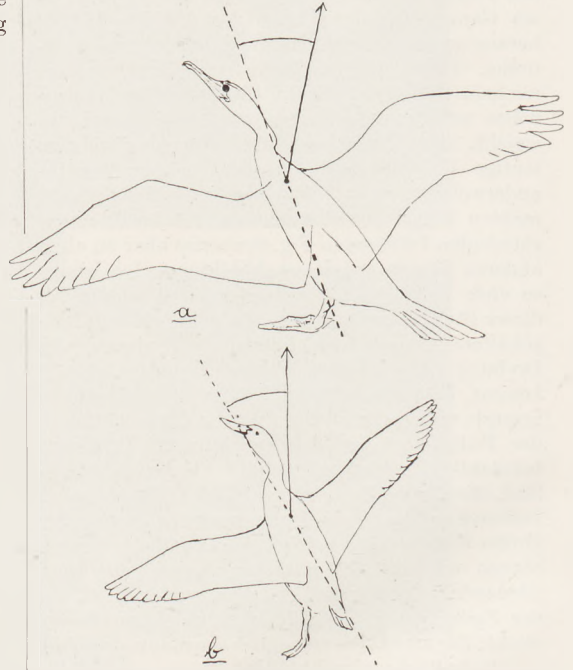


Fig. 11. Sich flügelnder Kormoran (oben); ebensolche Stockente (unten). Der Pfeil bezeichnet die Richtung des Rüttelvortriebes, die gestrichelte Linie die Achse des Flügelschlages. Der kurzbeinige und langflügelige Kormoran kann die Achse des Flügelschlages im Sitzen nicht so weit nach vorn neigen, daß der Rüttelvortrieb lotrecht wird, weil er sonst mit den Spitzen am Boden anschlagen würde.

weitaus am besten rütteln. Umgekehrt ist bei manchen schlecht rüttelnden Vögeln, wie z. B. bei Störchen, der Winkel zwischen der Schlagachse und der Richtung des Vortriebes besonders groß, die vortreibende Wirkung des Aufschlages demgemäß besonders schwach. Der große Unterschied zwischen der Wirkung des Aufschlages und der des Abschlages bringt es bei diesen Tieren mit sich, daß besonders bei dem noch recht muskelschwachen Rütteln, wie man es bei Jungstörchen als erste Flugübung zu sehen bekommt, ein wirkliches Absinken des Körpers während des Aufschlages zu beobachten ist. Es ist ein unglücklicher Zufall, daß LILIENTHAL gerade diesen Ausnahmefall zu sehen bekommen hat. Wer weiß, welche Anregungen dieser wahrhaft große Mann empfangen hätte, wenn er statt der Störche eine gut rüttelfähige Art, wie z. B. Seidenreiher, gehalten hätte!

Von dem Ausmaße des Winkels zwischen Vortrieb und Schlagachse kann man sich ein recht

genaues Bild machen bei manchen Wasservögeln, die im Sitzen oder Schwimmen mit den Flügeln schlagen, „sich flügeln“, wie HEINROTH diesen Vorgang bezeichnet. Ein Kormoran z. B. kann auf dem Boden stehend oder auf dem Wasser schwimmend seinen Rüttelvortrieb nicht lotrecht nach oben richten, weil sonst seine Flügel vorn auf die Unterlage aufschlagen würden. Er muß daher die Achse seines Flügelschlages so weit aufrichten, daß die Propellerwirkung seiner Flügel eine deutliche Komponente nach hinten bekommt, was sich darin ausdrückt, daß der sich flügelnde Vogel nach hinten getrieben wird; dies ist dann besonders deutlich, wenn er auf nassen Steinfliesen steht, auf denen er dann ausgleitet (Fig. 11).

Der landläufige Ausdruck „Rütteln“ bezeichnet eigentlich das Am-Platze-Stehen eines Vogels in der Luft. Ich möchte ihm hier aber eine etwas andere Bedeutung geben. Der Vogel kann der Achse seines Flügelschlages jede beliebige Rich-

tung erteilen, kann also mit der gleichen Flugmechanik am Platze halten, sich nach oben heben, nach vorn und sogar nach hinten fliegen. Vor allem gebraucht er dieselbe Art des Fluges auch zum Abflug und zum Bremsen vor der Landung. Mangels eines besseren Zeitwortes will ich nun alle diese Fälle ebenfalls mit dem Worte „Rütteln“ bezeichnen, d. h. jeden Flug mit der eben beschriebenen Mechanik, grob gesprochen jeden Flug mit aktivem Aufschlage, so bezeichnen. Wenn es nicht eine gar zu grobe Vergewaltigung der deutschen Sprache wäre, könnte man sagen, der Vogel „propellert“. DEMOLL bezeichnet ziemlich genau das, was ich als Rütteln bezeichne, als „Hubflug“. Ich würde mich seiner Ausdrucksweise unbedingt anschließen, wenn nicht BÖKER das Wort „Hubflug“ in durchaus abweichender Weise gebraucht hätte. Der Ausdruck Rütteln hat ferner den Vorzug, keine künstliche Bildung und außerdem noch ein kurzes Zeitwort zu sein.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Schulversuche zur Fluglehre. Von Ing. ERNST ROLLER. 104 Seiten mit 184 Abbildungen. Berlin: Carl Heymanns Verlag 1936. Preis brosch. RM 4.60.

Aus dem Vorwort: „Das vorliegende Buch ist ein Experimentierbuch und daher besonders für den Lehrer bestimmt. . . Ich habe alle Schulversuchsergebnisse als solche gekennzeichnet und grundsätzlich den Schulversuchsergebnissen die Forschungsergebnisse gegenübergestellt. Dadurch sieht der Lehrer, wie weit er das Schulversuchsergebnis verallgemeinern darf.“ Das im zuletzt zitierten Satz gekennzeichnete Vorgehen ist sehr zu begrüßen. Die Zusammenstellung der Versuche ist bewußt auf die von den Physikalischen Werkstätten in Göttingen hergestellten Geräte zugeschnitten und daher selbstverständlich etwas einseitig. Die Darstellung der Versuche ist sehr klar. Fast alle beschriebenen Versuche sind als wirklich schulmäßig zu bezeichnen und können auch meist mit den Geräten anderer Lehrmittelfabriken ausgeführt werden, so daß das kleine Buch auch den Lehrern von Nutzen sein kann, die andere Geräte benutzen. Allerdings fehlt natürlich die Beschreibung von Versuchen, zu denen Geräte gehören, die nicht von der „Phywe“ geliefert werden. Die auf S. 76 abgebildete Zweikomponentenwaage zur unmittelbaren Bestimmung von Polaren ist zwar sehr hübsch ausgedacht, für Schulzwecke aber viel zu kompliziert. Sonst aber kann das kleine Buch durchaus empfohlen werden.
Hiedemann.

Grundriß der Funktechnik. Von F. FUCHS. 20. Aufl. 215 S., Gr. 8°, mit mehr als 300 Abb. München: R. Oldenbourg 1936. Preis brosch. RM 5.20.

Die Besprechung eines Buches, das in 21 Jahren zwanzig Auflagen erlebt und sich immer wieder bewährt hat, steht für einen Referenten unter dem Motto der nach Athen getragenen Eulen. Die Entstehung des Buches reicht in die Kriegs-

zeit zurück, als der Verfasser Funker und Flieger des Heeres und der Marine über Funkentelegraphie unterrichtete. Nach dem Kriege diente das Buch in erster Linie als Einführung in die Funktechnik für Funkfreunde.

Vor Kennzeichnung des Buchinhalts sei bemerkt, daß bezüglich der Zahl und der Auswahl der Abbildungen manches physikalische Lehrbuch dagegen zurücksteht. Durch eine gute und übersichtliche Skizze läßt sich im Text mancher Satz ersparen. Dieses Prinzip hat der Verf. von der ersten bis zur letzten Seite seines Buches durchgeführt. Die Druckseiten sind so aufgeteilt, daß zwei Drittel für den Text vorgesehen sind, während das letzte Drittel ausschließlich für die Abbildungen und Formeln zur Verfügung steht.

Der Stoff ist sehr übersichtlich gegliedert. Im Anfange werden in eindringlicher Weise die Erzeugung und Messung des Gleich- und Wechselstromes geschildert, um dann zu den Schwingungsvorgängen überzugehen. Die Hauptgliederung ist aus der folgenden Aufstellung ersichtlich: 1. Gleichstrom; 2. Wechselstrom; 3. elektrische Schwingungen und Wellen; 4. Resonanz; 5. Antennen; 6. Zweipolröhre; 7. Drei- und Mehrpolröhre; 8. Netzanschluß; 9. Röhrensender; 10. Empfangsgerichte; 11. Verstärkerschaltungen; 12. Empfänger.

Außer einer Tafel mit den funktechnischen Schaltzeichen ist noch eine Aufstellung der Morsezeichen beigegeben. Bei den rein technischen Anwendungen ist der Inhalt des betreffenden Abschnittes stets auf den neuesten Stand der Technik gebracht worden. Immer wurde das Wesentliche klar zum Ausdruck gebracht. Um nur ein kurzes Beispiel für die Vielfältigkeit des Stoffes zu geben, sei das Kapitel über Antennen erwähnt. Die wichtigsten Antennenformen, die beim Senden und Empfangen besonders zweckmäßig bezüglich Leistungsabgabe und -aufnahme ausgestaltet werden können, sind die geerdeten Antennen, die

Dipole und die Schleifenantennen. Die Hauptformen der geerdeten Antenne werden besprochen: Eindraht-, T-, Schirm-, Reusen- und Behelfsantennen, Erdung eines Schiffes, Erdung in feuchtem und trockenem Boden, Gegengewicht. Bei der Verwendung von Dipolen sind zu beachten: Dipol in Grund- und Oberwellenerregung, Dipol mit Speiseleitung, mit verminderter Strahlung, Flugzeug- und Luftschiffantennen. Weiterhin sind die Richtstrahl- und Rahmenantennen von Bedeutung. Als Stichworte seien noch angegeben: Effektivhöhe, Dämpfungsursachen, Energieaufnahme einer Antenne, Verluste im Zwischengelände, Bodenstrahlung, Ausbreitung und Absorption der Raumwellen, Schwunderscheinungen. Ganz besonders gut gelungen ist auch die Darstellung des Kapitels über Röhrensender.

Wenn der Referent für die nächste Auflage des Buches Wünsche äußern darf, so möge der Verf. bei der Besprechung der Röhrensender auf die Schwierigkeit der Meßmethoden etwas eingehen. Besonders bei den kurzen Wellenlängen, also hohen Frequenzen, müssen gut ausgebildete Meßinstrumente verwendet werden. Die Strommessung bei Wellen unter $\lambda = 20$ m ist mit Hitzbandinstrumenten nicht mehr möglich, da die Instrumente durch den Hochfrequenzstrom zerstört werden. Der Strom läßt sich in solchen Fällen aus einer Leistungsmessung und einer Spannungsmessung berechnen. Die Leistung wird in einer künstlichen Antenne gemessen, die aus einem Drahtwiderstand besteht, der eine bestimmte Wassermenge in einer bestimmten Zeit erwärmt. Aus den Kalorien kann die Leistung in Kilowatt errechnet werden. Auf die Wirkungsweise eines SCHROEDERSchen Hochspannungsvoltmeters und auf die Schaltung eines Röhrenvoltmeters sollte hingewiesen werden. Weiterhin wäre die Abbildung einer kleinen Senderöhre, einer Senderöhre für Kurzwellen und einer Senderöhre mit Wasserkühlung für große Leistungen wünschenswert. *J. Böhme.*

Science Progress. A Quarterly Review of Scientific Thought, Work and Affairs. London: Edward Arnold & Co. Preis jedes broschierten Heftes 7 sh. 6 d.

In einer früheren Besprechung [diese Zeitschr. 48, 281 (1935)] ist die Art dieser wertvollen naturwissenschaftlichen Zeitschrift eingehend gewürdigt worden. Aus den seitdem veröffentlichten Heften seien jetzt kurz die Aufsätze angeführt, die für Leser unserer Zeitschrift von Interesse sein könnten.

Nr. 115. Bd. 29, Januar 1935. 207 Seiten. Sir GILBERT WALKER gibt einen Bericht über in der Natur beobachtete Wolkenbildungen und Modellversuche zu ihrer Erklärung. U. R. EVANS behandelt die Korrosion von Metallen, L. C. MARTIN die Elektronenoptik und J. W. WHITAKER die Verhütung von Grubenexplosionen. L. F. BATES bietet in einem Aufsatz über neue Gedanken in der modernen Physik sowie in der regelmäßigen Berichterstattung über die Fortschritte der Naturwissenschaften einen Überblick über Probleme der Kernphysik. E. A. MILNE erweitert eine Be-

sprechung des Buches „Relativität, Thermodynamik und Kosmologie“ von RICHARD C. TOLMAN zu einem Aufsatz über die Grenzen der allgemeinen Relativitätstheorie, in dem er dringend vor einer Überschätzung dieser Theorie und einem blinden Glauben an ihre Richtigkeit warnt.

Nr. 116. Bd. 29, April 1935. 208 Seiten. L. G. BRAZIER berichtet über Hochspannungskabel und A. J. MEE über die Struktur der Moleküle. DOUGLAS MCKIE gibt eine geschichtliche Betrachtung über das Leben von DANIEL RUTHERFORD (1749 bis 1819) und über die Entdeckung des Stickstoffs. R. E. GIBBS berichtet über die Struktur der festen Körper. G. BURNISTON BROWN bespricht in einem Aufsatz „Grenzen der Wissenschaft“ die folgenden Bücher: „Wissenschaftliche Theorie und Religion“ von R. W. BARNES (Bischof von Birmingham), „Gott und die Astronomen“ von W. R. INGE (Dechant von St. Paul) und „Grenzen der Wissenschaft“ von J. W. N. SULLIVAN.

Nr. 117. Bd. 30, Juli 1935. 192 Seiten. G. M. B. DOBSON berichtet über die Stratosphäre, S. SUGDEN über künstliche Radioaktivität und H. LOWERY über die Tagung des Instituts für Physik betr. Physik in der Industrie.

Nr. 118. Bd. 30, Oktober 1935. 192 Seiten. H. FREUNDLICH berichtet über die optische Anisotropie kolloidaler Lösungen, F. IAN. G. RAWLINS über das Physikalische Untersuchungslaboratorium der Londoner Nationalgalerie, G. W. O. HOWE über Symbole, Einheiten und Bezeichnungen in der Elektrizitätslehre. In einem sehr temperamentvollen Aufsatz „Unsere blinde Vernachlässigung des Wissens“ fordert H. E. ARMSTRONG, daß die Wissenschaft sich nicht zu sehr von den Problemen der Wirklichkeit entfernen und die (britische) Regierung aus den Erkenntnissen der Wissenschaft Nutzen ziehen solle. Während Deutschland alle Kräfte zur Lösung sozialer Aufgaben anspanne, habe England die Notwendigkeiten der Gegenwart nicht erkannt. Der Inhalt des Aufsatzes ist gerade für deutsche Leser von besonderem Interesse.

Nr. 119. Bd. 30, Januar 1936. G. W. C. KAYE berichtet über Schall und Lärm, J. R. PARTINGTON über die Geschichte des Phosphors und P. C. SMET-HURST über das Umkehrproblem in der Photographie. In einem Ausfatz „Die unberechenbare Atmosphäre“ bespricht R. A. WATSON WATT die Bücher: „Physikalische und dynamische Meteorologie“ von D. BRUNT und das „Handbuch der Prinzipien der Meteorologie“ von R. M. DEELEY.

Nr. 120. Bd. 30, April 1936. E. N. DA C. ANDRADE berichtet über die Zerreißfestigkeit von Metallen und A. J. MEE über Phosphore und Phosphoreszenz. J. R. PARTINGTON erweitert die Besprechung eines Buches von A. MINGANA über das Schatzbuch des JOB VON EDESSA zu einem Aufsatz über die Wissenschaft in Bagdad im neunten Jahrhundert.

Nr. 121. Bd. 31, Juli 1936. E. J. WILLIAMS berichtet über den Durchgang von elektrischen Elementarteilchen durch Materie, E. E. TURNER über die Stereochemie der Kohlenstoffverbindungen,

G. F. DAVIDSON und W. A. RICHARDSON über die molekulare Struktur von Zellulose und Stärke. DOUGLAS McKIE gibt einen interessanten geschichtlichen Beitrag über CHÉRUBIN D'ORLÉANS, der in einem um 1700 veröffentlichten Buch über die Undurchlässigkeit von Glas gegenüber Gasen

Versuche von BOYLE kritisierte, die diesen zur Auffassung der Durchlässigkeit von Glas geführt hatten. G. TEMPLE bespricht in einem Aufsatz über die neue Kosmologie das Buch „Relativität, Gravitation und Struktur der Welt“ von E. A. MILNE.
Hiedemann.

Aus Werkstätten.

Registriervorrichtungen für Oszillographen.

Oszillographen finden heute in der Technik und in der Wissenschaft eine außerordentlich vielseitige Anwendung. In den wenigsten Fällen genügt es aber, den Schwingungsvorgang mit dem

Stunde bis zu 100 m und mehr in der Sekunde vorkommen, daß die Lichtstärke des Oszillographen vielfach recht gering ist, und daß für die Aufzeichnung Streifenbreiten von etwa 3 bis zu 20 cm verlangt werden.

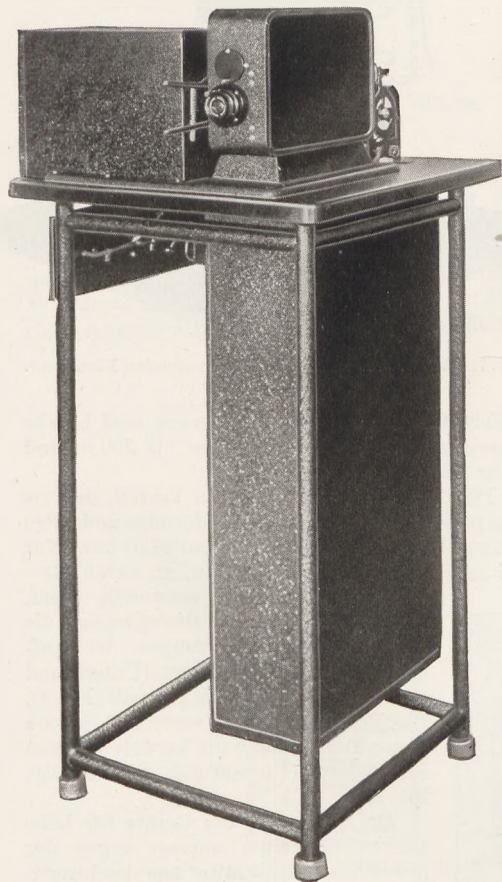


Fig. 1. Ansicht einer Trommelkamera für Filmgeschwindigkeiten bis 80 m/sec.

Auge zu beobachten, vielmehr verlaufen viele wichtige Vorgänge so schnell, daß man sie zur genaueren Untersuchung aufzeichnen muß.

Die Firma E. Leybolds Nachfolger in Köln hat in den letzten Jahren eine Reihe Registriervorrichtungen entwickelt, die nicht nur für die bekannten elektrodynamischen Schwingungsschreiber, sondern auch für die neuzeitlichen Elektronenstrahl-Oszillographen verwendbar sind. Die Aufgabe wurde dadurch erschwert, daß Schreibgeschwindigkeiten von wenigen Millimetern in der

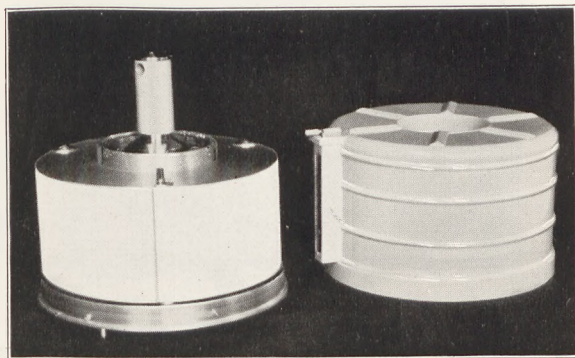


Fig. 2. Befestigung des Films auf der Trommel.

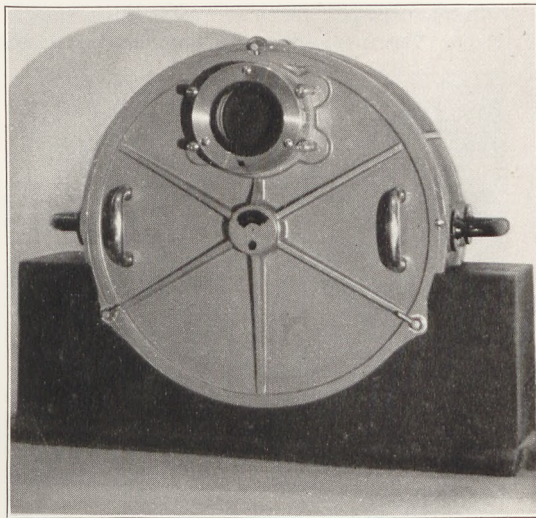


Fig. 3. Trommel für Filmgeschwindigkeiten über 80 m/sec.

Grundsätzlich sind zwei verschiedenartige Lösungen möglich, je nachdem die Aufzeichnung auf ein umlaufendes lichtempfindliches Papier von beschränkter Länge oder auf durchlaufendes Papier oder Film vorgenommen wird. Verhältnismäßig einfach ist die erste Aufgabe, bei der man dann auch leicht zu großen Papierbreiten und, wenn nötig, zu hohen Geschwindigkeiten kommt. Das lichtempfindliche Papier wird um eine Trommel

gelegt, die von einem Motor mit senkrechter Achse getragen und in Umdrehung versetzt wird. Auf einer Seite der Trommel befindet sich, in ein

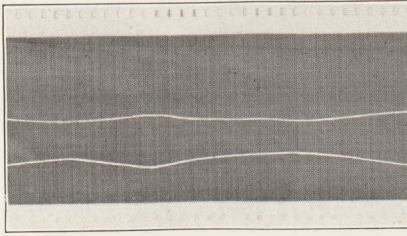


Fig. 4. Verzerrung der Aufschreibung bei Verwendung von Zahnrädern.

geeignetes kräftiges Gehäuse eingebaut, ein Objektiv mit Verschuß. Die Lichtstärke hängt von der gewünschten Registriergeschwindigkeit ab,

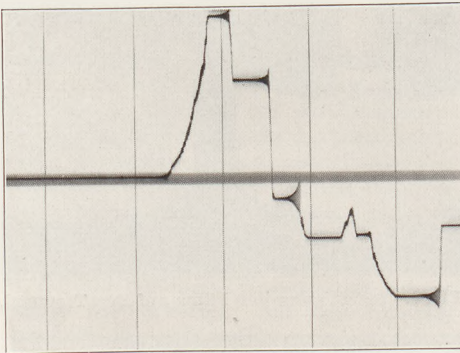


Fig. 5. Verwendung von Reibrädern zur Vermeidung der Verzerrungen.

und zwar werden Objektive bis zum Öffnungsverhältnis $f:2$ verwendet. Es gibt zwar noch lichtstärkere Objektive, die aber gegenüber der

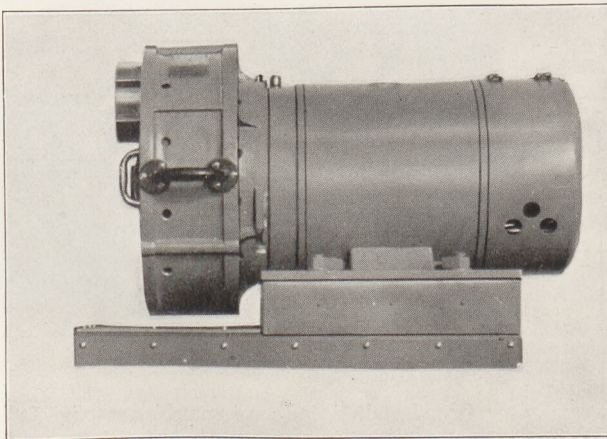


Fig. 6. Trommelkamera für Geschwindigkeiten bis 180 m/sec.

genannten Öffnung keinen weiteren Vorteil bringen, da sie nicht mehr die gleiche Abbildungsschärfe zulassen. Fig. 1 zeigt eine solche listenmäßig ausgeführte Trommelkamera für Filmgeschwindigkeiten bis zu 80 m/sec und Filmbreiten bis zu

20 cm. Die Befestigung des Films auf der Trommel zeigt Fig. 2.

Bei Geschwindigkeiten über 80 m/sec reicht die Festigkeit des Films oder des Papiers auf der Trommel nicht mehr aus. Dann wird eine Trommel nach Fig. 3 verwendet, bei der das lichtempfindliche Papier auf die Innenwand der zylindrischen Trommel gelegt und über ein Prisma

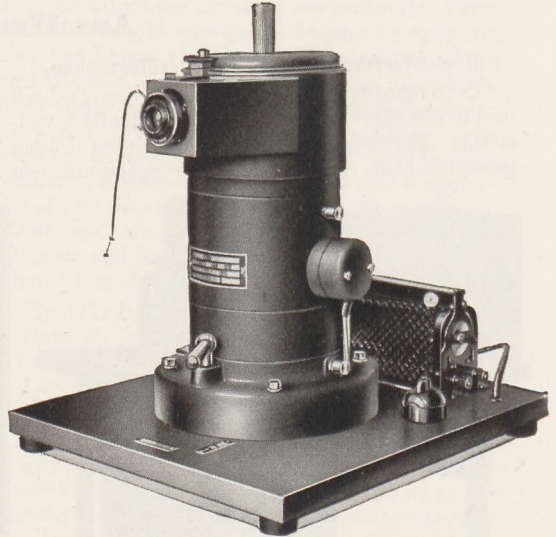


Fig. 7. Registriervorrichtung für laufendes Filmband.

belichtet wird. In dieser Ausführung sind bereits Kameras mit Geschwindigkeiten bis 150 m und mehr in der Sekunde gebaut.

Die Trommelkamera hat den Vorteil, daß sie eine praktisch vollkommen gleichförmige und dabei gut regel- und meßbare Geschwindigkeit hat. Nur bei sehr langsamen Bewegungen, zu deren Herstellung Zahnräder notwendig sind, entstehen ruckweise Bewegungen, die unerwünschte Verzerrungen der Aufschreibung zur Folge haben (Untergrund senkrecht unregelmäßig gestreift; Fig. 4). Die Firma Leybold vermeidet jedoch diesen Fehler durch die Verwendung von Reibrädern (Untergrund gleichmäßig; Fig. 5).

Die Trommeln der Geräte für hohe Geschwindigkeiten müssen wegen der gewaltigen Fliehkräfte aus hochwertigem Material hergestellt werden. Eine sehr gute Lösung ergab sich durch die Verwendung neuerer Leichtmetalllegierungen mit Festigkeitseigenschaften, die denen des Stahls ähnlich sind. Die erforderliche Antriebskraft hängt von der notwendigen Endgeschwindigkeit ab. Eine Trommelkamera für Geschwindigkeiten bis zu 180 m/sec erfordert z. B. die Leistung 10 PS (Fig. 6).

Wesentlich schwieriger in der praktischen Durchführung sind die Registriervorrichtungen, die Aufnahmen auf ein fortlaufendes Papier- oder Filmband gestatten. Dabei sind gerade solche

Aufnahmen für manche Untersuchungen notwendig. Wegen der Schwierigkeit der Fortbewegung des Films bei dieser Anordnung sind auch nur beschränkte Geschwindigkeiten erreichbar. So kann man mit der in Fig. 7 wiedergegebenen Kamera Aufnahmen auf bewegten

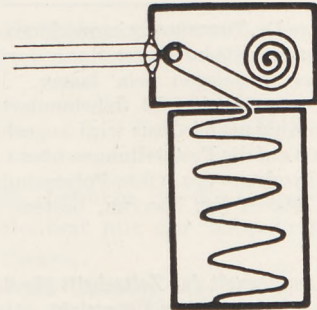


Fig. 8. Ablaufvorrichtung für den Film in schematischer Darstellung.

Film mit einer Geschwindigkeit bis zu 18 m/sec machen. In dieser Kamera ist noch eine verhältnismäßig einfache Ablaufvorrichtung für den Film vorgesehen, wie sie schematisch in Fig. 8 dargestellt ist. Der Film befindet sich auf einer Vorratswalze und wird durch den Motor der Vorrichtung zwischen zwei Transportrollen hindurch-

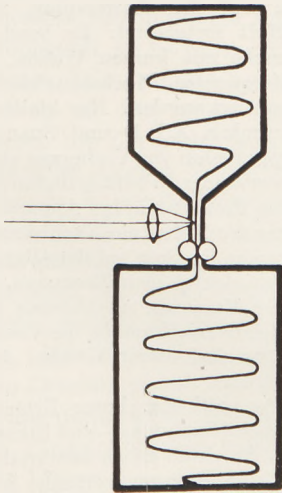


Fig. 9. Anordnung für das Aufschichten des Films.

geführt. Der abgelaufene Film fällt in eine Kassette, wo er sich aufschichtet. Durch ein mit dem Deckel der Kassette verbundenes Messer wird der Film nach Beendigung der Aufnahme abgeschnitten und kann in der Dunkelkammer herausgenommen werden, ohne daß an der übrigen Anordnung etwas geändert wird.

Ein Mangel derartiger Vorrichtungen ist, daß sie infolge der Trägheit der umlaufenden Teile eine erhebliche Anlaufzeit gebrauchen. Würde man jedoch einen stärkeren Motor verwenden, um die Beschleunigung zu vergrößern, so würde man den Film oder das Papier abreißen. Für

höhere Geschwindigkeiten ist daher neuerdings die Anordnung so gewählt, wie Fig. 9 zeigt: auch der ablaufende Film wird aufgeschichtet, nicht aufgerollt. So braucht beim Einschalten der Vorrichtung keine Masse in Umdrehung versetzt zu werden, die Anlaufbeschleunigung ist allein durch den

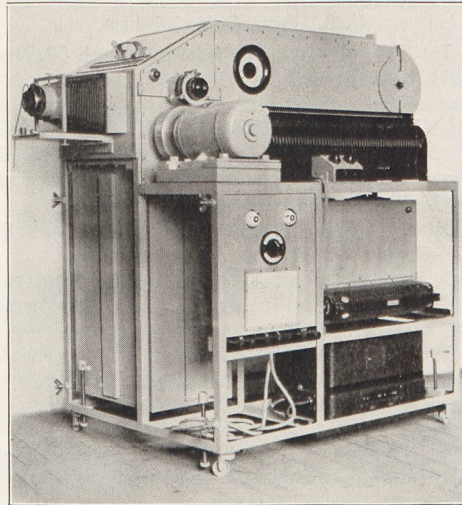


Fig. 10. Filmaufschichtung für Papierbreiten bis 20 cm.

Motor bestimmt, und es besteht keine Gefahr, daß der Film abreißt. Wie oben schichtet sich der Film in der Auffangkassette auf. Solche Anordnungen sind daher auch für Papierbreiten bis 20 cm durchführbar (Fig. 10).

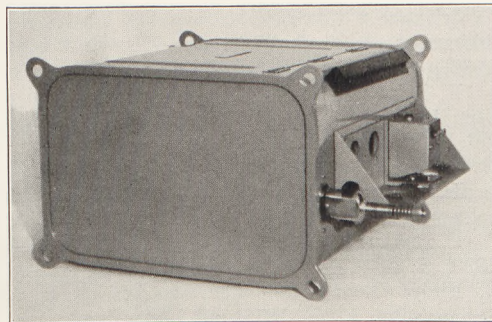


Fig. 11. Registriervorrichtung für meteorologische Untersuchungen im Flugzeug.

Mit den beschriebenen Registriervorrichtungen ist das Aufgabengebiet noch keineswegs erschöpft. So zeigt Fig. 11 eine Registriervorrichtung, die besonders für meteorologische Untersuchungen im Flugzeug entwickelt wurde, und mit deren Hilfe die verschiedensten Daten, wie Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit usw. gleichzeitig auf ein fortlaufendes lichtempfindliches Papier verzeichnet werden, ohne daß während des Fluges eigentliche Messungen angestellt werden müßten.

Die Entwicklung der Registriervorrichtungen ist schwieriger, als es nach den obigen Ausführungen zunächst scheinen möchte. Es sei hier nur

noch zum Schluß angedeutet, daß bei fast sämtlichen Aufnahmen mit Registriervorrichtungen auch die Zeit verzeichnet werden muß. Auch hier-

für haben sich mehrere interessante Lösungen ergeben, über die bei späterer Gelegenheit an dieser Stelle berichtet werden wird.

Korrespondenz.

G. S. Ohms Geburtsdatum.

Im Erlanger Tageblatt (Nr. 65 vom 18. März 1937) beantwortet Dr. ERNST DEUERLEIN die Frage: Wann wurde GEORG SIMON OHM geboren? Auf Grund der im Wortlaut wiedergegebenen Kirchenbucheintragung wird festgestellt, daß der bekannte Physiker am **16. März 1789** in Erlangen das Licht der Welt erblickte.

Die in der Literatur vorhandenen Unstimmigkeiten seien an einigen Beispielen belegt.

A. HELLER, Geschichte der Physik (Stuttgart 1882/4), Bd. 2, S. 619: „GEORG SIMON OHM wurde den 16. März 1789 in Erlangen ... geboren.“

F. ROSENBERGER, Geschichte der Physik (Braunschweig 1887/90), Teil III, S. 210: „GEORG SIMON OHM ist am 16. März 1787 in Erlangen geboren.“

A. KISTNER, Geschichte der Physik (Leipzig 1906, Sammlung Götschen, Bd. 293/4), II, S. 93: „GEORG SIMON OHM (1787—1854).“

Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. VII (1. Aufl. Jena 1912), S. 250: „OHM, GEORG SIMON; geboren am 6. März 1787 in Erlangen.“ Als Literatur ist angegeben: BAUERNFEIND, Gedächtnisrede auf OHM (Leipzig 1890); MANN, G. S. OHM (Leipzig 1390). In der 2. Auflage steht in Bd. VII (1932) auf S. 389: „OHM, GEORG SIMON; geboren am 16. März 1789 in Erlangen.“ Die Literaturangaben lauten hier: BAUERNFEIND, Gedächtnisrede auf OHM (München 1882); MANN, G. S. OHM (Leipzig 1890).

F. DANNEMANN, Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange, Bd. IV (2. Auflage Leipzig 1923), S. 111: „GEORG SIMON OHM wurde 1787 in Erlangen geboren.“

E. HOPPE, Geschichte der Physik (Braunschweig 1926), S. 435: „G. S. OHM (1787—1854).“

P. LENARD, Große Physiker (2. Aufl. München 1930), S. 206: „GEORG SIMON OHM (1789—1854).“

Einige Lehrbücher der Physik geben die Lebenszeiten 1785—1854 und 1787—1854 an.

Unsere Zeitschrift enthält 2, 196; (1889) den Bericht von F. POSKE: Zu GEORG SIMON OHMS Gedächtnis, mit richtigem Geburtsdatum.

G. S. OHM war 1833 bis 1839 Lehrer und 1839 bis 1849 Rektor der Polytechnischen Schule in Nürnberg, einer Vorgängeranstalt des jetzigen Ohm-Polytechnikums (Höhere technische Staatslehranstalt) Nürnberg. Da dort das Andenken an den bekannten Physiker besonders gepflegt wird, hat

Herr Kollege Dr. DEUERLEIN in anerkennenswerter Weise die urkundliche Feststellung des Geburtsdatums sich angelegen sein lassen. Die Aufstellung einer bis ins 16. Jahrhundert zurückreichenden Ahnentafel OHMS wird angestrebt. Für den Hinweis auf die Feststellungen über G. S. OHM sei dem Direktor des Ohm-Polytechnikums in Nürnberg, Herrn Dr. VETTER, bestens gedankt.

Mth.

Neues Sonderheft der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht. Als Heft 16 der Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft ist in Druck gegeben: FRIEDRICH MOELLER, Versuche zur elektrischen Resonanz mit hochfrequenten und niederfrequenten Wechselströmen (Versuche mit kleinen Röhrengeneratoren); mit einer kurzen theoretischen Erörterung zur elektrischen Resonanz. 52 Abbildungen und 14 Tabellen. Verlag Julius Springer in Berlin.

Heft 15 desselben Verfassers: Die Dreielektrodenröhre und ihre Anwendung, wird durch das neue Heft fortgesetzt. Es beschreibt zahlreiche Versuche mit kurzen Wellen, mit hoch- und mittelfrequenten Wechselströmen, die mit der Röhre erzeugt werden. Nur kleinere Röhrentypen (Telefunken A D 1) und Spannungen bis 220 V, die gemeinhin zur Verfügung stehen, kommen zur Verwendung. Vielfach finden sich Einzelangaben über die notwendige Apparatur, so daß dem Benutzer des Heftes ein Nachbau möglich ist.

Alle Versuche beruhen auf der allgemeinen Erscheinung der elektrischen Resonanz, deren Gesetze von der Frequenz unabhängig sind. Deswegen erschien es zweckmäßig, die Versuche unter dem Gesichtswinkel dieser Gesetze darzustellen und zu erklären.

Zu Anfang wird eine kurze Erläuterung zur Resonanztheorie (Spannungs- und Stromresonanz) gegeben. Im Anschluß daran beschreibt das Heft auch eine Reihe Resonanzversuche mit Niederfrequenz (Netz, 50 Hz), um zu erhärten, daß alle Resonanzversuche unabhängig von der Frequenz die gleichen Merkmale zu zeigen. Nur die technischen Mittel bei den verschiedenen Frequenzen werden andere, und die Erscheinungen der Resonanz sind im allgemeinen um so mehr ausgeprägt und umfangreicher, je höher die benutzte Frequenz wird.