

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 46 (1955)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Neue Wege im Bau stossfester, zeigender und schreibender Messinstrumente  
**Autor:** Staub, T.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058165>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 09.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

de la FKH, à Lugano, un compte rendu des résultats de ces mesures de la foudre.

### 3. Essais sur commande à Goesgen

La plupart des travaux exécutés à Goesgen concernaient des essais de nouveaux modèles de parafoudres. En outre, on a procédé à des essais de principe sur la résistance aux chocs de transformateurs de tension pour haute tension.

La nasse a été utilisée pour examiner le comportement de divers isolateurs pour 50 kV en cas de formation de rosée. Une première série d'essais a déjà permis d'établir le critère essentiel pour la résistance d'isolateurs couverts de rosée. Il s'agit d'un équilibre entre la formation de rosée et le séchage sous l'influence de la tension. La valeur de la tension alternative maintenue en permanence à l'isolateur a une grande importance à cet égard. Une seconde série d'essais, qui tiennent compte de cette influence, est en cours d'exécution. Son but est de mettre au point une méthode qui permette, mieux que l'essai sous pluie, de contrôler le comportement des isolateurs en service dans le brouillard et à la rosée.

Des essais systématiques de déclenchement à vide de transformateurs à l'aide de différents appareils d'interruption ont ensuite été préparés à Goesgen.

### 4. Essais sur commande dans des installations

Au cours de l'exercice écoulé, deux essais de grande envergure ont été exécutés dans des installations. Le premier concernait des couplages à vide de transformateurs associés à des lignes, ainsi que de lignes à 225 kV, le second l'extinction d'arcs de mise à la terre accidentelle dans un grand réseau à 50 kV comportant des câbles et des bobines d'extinction, avec mesure des surtensions qui en résultent.

### 5. Extension des dispositifs d'essais

L'extension de la station d'essais de Goesgen a pu commencer. L'emplacement du nouveau transformateurs d'essais pour environ 1 million de volts et du nouveau générateur de chocs pour 2,4 millions de volts a été préparé, les caniveaux des câbles furent aménagés et l'on a transformé et agrandi le local de mesures dans le bâtiment. En raison des longs délais de livraisons des transformateurs et des générateurs de chocs, cette extension ne sera toutefois guère achevée avant la fin de 1956.

Pour le deuxième générateur de chocs mobile, un garage a été aménagé du côté ouest du bâtiment. La livraison de la partie électrique de ce nouveau véhicule a malheureusement été retardée de plusieurs mois, par suite de surcroît de travail du fournisseur, de sorte que cette installation ne pourra probablement pas être mise en service avant l'été de 1955.

La S. A. Motor-Columbus a achevé les plans de l'extension d'une plate-forme pour les essais de court-circuit dans le poste de couplage à 225/140 kV de Mettlen. Les travaux de construction et la fourniture des disjoncteurs de protection sont adjugés. Il sera sans doute possible de procéder aux premiers essais de court-circuit en automne 1955. Ces essais se limiteront tout d'abord à la plus haute tension. Un transformateur de grande puissance sera ultérieurement prévu pour les essais à haute tension moyenne.

Les dispositifs de mesure pour les essais de court-circuit à Mettlen, ainsi que pour nos mesures dans des installations, ont déjà été acquis ou sont en fabrication.

### 6. Séances et publications

Les deux Assemblées statutaires des membres de la FKH se sont tenues au printemps et en automne sous la présidence de M. W. Hauser, président. A l'Assemblée de printemps, M. R. Pichard fit un rapport sur les essais de mises à la terre accidentelles, avec arcs dans l'air, dans l'huile et dans des interstices de porcelaine, exécutés durant les années précédentes. On a notamment étudié les caractéristiques des arcs provoqués par des courants habituels de mise à la terre. Un résumé de ces très intéressants essais sera publié dans le Bulletin de l'ASE. Le rapport présenté par M. W. Baumann à l'Assemblée d'automne 1953, sur la formation d'arcs dans des potelets, a paru dans le Bulletin de l'ASE en 1954<sup>1)</sup>.

A l'Assemblée d'automne, à Lugano, l'ingénieur chargé des essais a fait un rapport sur les résultats des mesures de la foudre durant les années 1947 à 1954. Un résumé de ce rapport a paru dans le Bulletin de l'ASE en 1955<sup>2)</sup>. A l'issue de l'assemblée, les participants visitèrent les installations du Monte San Salvatore.

Conformément aux statuts, les mandats de deux membres du Comité d'Etudes venaient à expiration, ceux de MM. A. Roth et E. Foretay, qui ont été remplacés par MM. W. Wanger (Baden) et P. Müller (Brougg), élus à l'unanimité. En outre, M. J. Kramer, qui a rendu de très grands services durant de nombreuses années pour les travaux de construction à Goesgen, a donné sa démission pour raison d'âge.

Le Comité d'Etudes de la FKH a tenu trois séances durant l'exercice écoulé, sous la présidence de M. W. Hauser, pour traiter des affaires courantes et visiter les installations de Goesgen et de Mettlen.

L'ingénieur chargé des essais:  
K. Berger

<sup>1)</sup> Bull. ASE t. 45 (1954), n° 12, p. 465...471.

<sup>2)</sup> Bull. ASE t. 46 (1955), n° 5, p. 193...201, et n° 9, p. 405...424.

## Neue Wege im Bau stossfester, zeigender und schreibender Messinstrumente

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 2. Juni 1955, in Zürich,

von Th. Staub, Richterswil

621.317.7.087.61 : 620.178

*Es werden die drei wichtigsten Prüfverfahren (Beschleunigungs-, Vibrations- und Stossprüfung) für stossfeste, zeigende und schreibende elektrische Messinstrumente beschrieben. Sodann werden verschiedene prinzipielle Konstruktionsfragen im Messinstrumentenbau diskutiert, wobei die Stossfestigkeit von spannbund- und spitzengelagerten Messwerken sowie der Instrumente mit 90° und 250° einander gegenüber gestellt werden. An verschiedenen Ausführungen werden neue Wege im Bau stossfester, zeigender und schreibender Messinstrumente erläutert. Einige Beispiele zeigen, dass neue Richtungen in der Konstruktion auch neue Anwendungsbereiche erschliessen können.*

*Description des trois plus importants modes d'essais (accélération, vibration et choc) pour des appareils électriques de mesure indicateurs et enregistreurs, résistants aux chocs. Exposé de différentes questions de principe concernant la construction dans le domaine des appareils de mesure. Comparaison, au point de vue de la résistance aux chocs, entre les mécanismes à ruban tendu et ceux à pivots, ainsi qu'entre les appareils à 90° et ceux à 250° de déviation d'aiguille. A l'aide d'exemples de différentes exécutions, l'auteur montre quelles sont les nouvelles tendances dans la construction de ces appareils, qui permettent d'envisager également de nouveaux domaines d'application.*

### 1. Einleitung

Der Zweck dieses Vortrages ist, einen kleinen Einblick in die Probleme der Prüfverfahren, der Konstruktion, Fabrikation und Anwendung stossfester zeigender und schreibender Messinstrumente zu geben.

Wie auf andern Gebieten der Technik war es auch hier die Praxis, die nach neuen Konstruktionen verlangte. Es waren vor allem der Fahrzeugbau (Lokomotivbau, Schiffbau, Panzerfahrzeuge, Pneu-fahrzeuge aller Art) und der Flugzeugbau, die immer höhere Forderungen stellten. Weitgehende

Materialbeanspruchungen bis nahe an die zulässigen Grenzen, z. B. Düsentriebwerke, Flugzeuge mit Überschallgeschwindigkeit usw. verlangten nach mehr, nach genaueren, vor allem aber nach betriebssichereren Messinstrumenten. Alte Konstruktionen, die sich für den Schalttafelbau seit Jahren bzw. seit Jahrzehnten bewährt haben, mussten verlassen werden. Es galt vorerst, die in der Praxis auftretenden Beanspruchungen zu erfassen und zu formulieren. Umfangreiche Untersuchungen über Frequenz, Amplitude, Art und Richtung der in Fahr- und Flugzeugen auftretenden Schwingungen bildeten die Grundlage, nach welcher die Richtlinien über die Prüfverfahren stossfester elektrischer Messinstrumente entwickelt wurden.

Es ist allgemein üblich, Stossprüfungen bzw. Stossbeanspruchungen durch Angabe des Beschleunigungswertes zu bezeichnen, dem der Prüfling ausgesetzt wird, wobei der auftretende Beschleunigungswert in Vielfachen der Erdbeschleunigung

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

angegeben wird.

Eine Prüfung von 10 g bedeutet demnach, dass der Prüfling der 10fachen Erdbeschleunigung ausgesetzt wird. Die Angabe eines reinen g-Wertes genügt jedoch nicht, wenn nicht zugleich die Bedingungen bekannt sind, unter denen der g-Wert erreicht wird. Ein Prüfverfahren sollte aber nicht nur den praktisch vorkommenden Beanspruchungen entsprechen, sondern es soll einfach, d. h. wirtschaftlich durchführbar sein und muss reproduzierbare bzw. vergleichbare Resultate liefern.

Die mechanischen Beanspruchungen, denen Messinstrumente ausgesetzt sein können, sind so mannigfaltig, dass eine Berücksichtigung aller auftretenden Fälle kaum möglich sein wird.

## 2. Prüfverfahren

Man kennt heute drei wichtige Prüfverfahren:

1. Beschleunigungsprüfung;
2. Vibrationsprüfung;
3. Stossprüfung.

### a) Beschleunigungsprüfung

Die Beschleunigungsprüfung kann mit einem Rundlauf (Karussell) durchgeführt werden, wobei der Radius  $r$  der Kreisbahn so gross gewählt werden sollte, dass für den ganzen Prüfling mit einer gleichen Beschleunigung gerechnet werden kann. Bei konstanter Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 2\pi n$  ( $n$  = Drehzahl) erhält man für die auf den Prüfling wirkende Beschleunigung  $a$ , bezogen auf die Erdbeschleunigung

$$\frac{a}{g} = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{4\pi^2 n^2 r}{g}$$

z. B. 10 g entspricht einem Radius  $r$  von 3 m und einer Drehzahl von 54,6 U./min.

Die Prüfung kann in einer oder mehreren Ebenen erfolgen. Die Ablesung der Instrumente erfolgt mittels Spiegel. Die Beschleunigungsprüfung wird

besonders für Bordinstrumente für die Aviatik angewendet, denn sie reproduziert Werte, wie sie etwa bei einem Kurvenflug vorkommen. Vor allem zeigt sie Balancefehler, d. h. Unregelmässigkeiten in der Anfertigung an.

Beispiel:

| Instrumenten-Klasse | zulässige Balancefehler         | Neigung        | Beschleunigung | Verwendung     |
|---------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1,5                 | $\pm 1,5\%$ v. E. <sup>1)</sup> | $\pm 5^\circ$  | 1g             | Schalttafelbau |
| 1,5                 | $\pm 1,5\%$ v. E.               | $\pm 90^\circ$ | 14g            | Aviatik        |

### b) Vibrationsprüfung

Wichtig für den allgemeinen Instrumentenbau ist die Vibrationsprüfung. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass der Prüfling einer periodisch ihr Vorzeichen wechselnden Beschleunigung ausgesetzt wird. Dabei sind die Verhältnisse besonders einfach und übersichtlich, sobald die Prüfung in einer einzigen Ebene auf einem Schütteltisch erfolgt, dessen Schwingungen harmonisch verlaufen.

Ist  $\omega = 2\pi f$  die Kreisfrequenz der Schwingung und  $A$  ihre Amplitude, so beträgt der zeitliche Verlauf der Beschleunigung

$$a(t) = \omega^2 A \sin \omega t$$

oder wiederum die auf den Prüfling wirkende Beschleunigung  $a$ , bezogen auf die Erdbeschleunigung  $g$ :

$$\frac{a}{g} = \frac{\omega^2 A}{g} = \frac{4\pi^2 f^2 A}{g}$$

Fig. 1 zeigt die erforderliche Frequenz als Funktion der Schwingungsamplitude  $A$  für verschiedene g-Werte bei sinusförmiger Vibration, z. B. für 10 g bei 50 Hz;  $A = \pm 1$  mm.

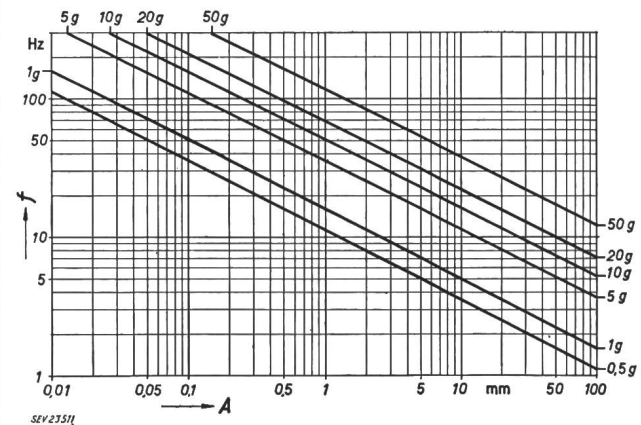


Fig. 1  
Erforderliche Frequenz  $f$  als Funktion der Schwingungsamplitude  $A$  für verschiedene g-Werte bei sinusförmigen Vibrationen

Fig. 2 zeigt die Ausführung eines Vibrations-tisches für die Frequenzen von 5...100 Hz und einer einstellbarer Amplitude von 0 bis  $\pm 6$  mm für Prüflinge bis zu 50 kg Prüfgewicht. Der Prüftisch wird zwangsläufig angetrieben und macht horizontale, angenähert sinusförmige Schwingungen. Die Prüfung erfolgt bei variabler Frequenz und konstanter Weg-Amplitude. Für Prüffrequenzen von 100...1000 Hz werden dynamische Prüfeinrichtungen (Schwingspulsysteme ähnlich Lautsprechern) verwendet.

<sup>1)</sup> E = Skalenendwert.

Vibrationsprüfungen sind besonders als Ermüdungsteste (Dauerprüfung) geeignet und dienen zur Ermittlung von Material- und Fabrikations-

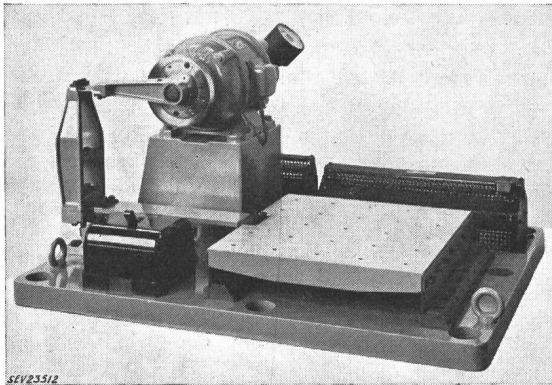


Fig. 2  
Vibrationmaschine

fehlern bzw. schlechter oder defekter Teile und kalter Lötstellen. Mit kleinen Amplituden dienen sie auch zu Resonanzuntersuchungen, indem durch stetes Durchfahren eines bestimmten Frequenzbereiches die Resonanzfrequenzen des Prüflings ermittelt werden können.

Elektrische Messinstrumente werden entsprechend ihrem praktischen Einsatz in der Regel mit 10...100 Hz geprüft. Die Grenzen der  $g$ -Werte betragen je nach Land, Anwendungsgebiet und Typenklasse

- 1,5...5  $g$  für Schalttafel-Instrumente;
- 10...20  $g$  für Panzerfahrzeug- und Flugzeug-Instrumente.

#### c) Stossprüfung

Die bekannteste der Stossprüfmethoden ist der freie Fall auf eine mehr oder weniger gefederte Unterlage. Im Gegensatz zur Vibrationsprüfung ist

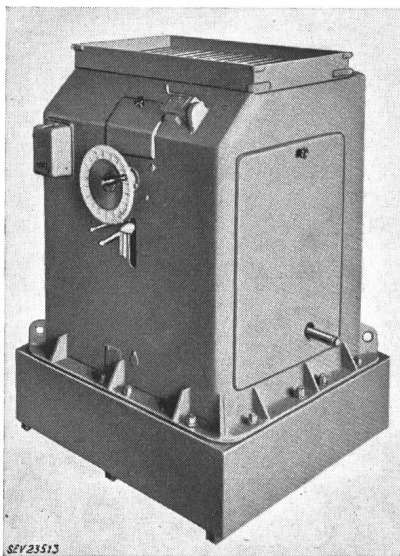


Fig. 3  
Maschine für Stossprüfung

eine genaue Ermittlung der Beschleunigungswerte sehr schwer, da das dynamische Verhalten der federnden Unterlagen eine wesentliche Rolle spielt.

So liefert z. B. die Stossmaschine von Habegger, Thun (Fig. 3), einen verhältnismässig harten bzw. kurzen Stoss (auf Buchenholzunterlage), während in Schweden der langsame Stoss auf Federunterlage vorgezogen wird. Gegenüber der Vibrationsprüfung unterscheidet sich die Stossprüfung vor allem darin, dass ein Stoss stets eine Vielzahl verschiedener Frequenzen enthält, mit denen der Prüfling beim Aufschlagen, also für sehr kurze Zeit, beansprucht wird.

Die Stossprüfung dient in erster Linie zur Prüfung fester Messwerkzeuge, der Verdrahtung und der Gehäuse. Sie entspricht der mechanischen Beanspruchung, wie sie etwa durch Transport oder bei Fall eintreten kann.

Das Problem der Stossprüfung ist sehr komplex, und man ist sich heute in Fachkreisen noch nicht einig, ob wenige harte Stösse, z. B. in den USA 10 Stösse mit 50  $g$ , oder nach schwedischem Vorschlag eine grosse Anzahl weicherer Stösse (z. B. 10000 Stösse mit 10  $g$ ) oder aber viel grössere Stosszahlen (einige Millionen unter 1  $g$ ) das Richtige sei.

Auf Grund der vorliegenden Erläuterungen ist es einleuchtend, dass die drei Prüfverfahren (Beschleunigungs-, Vibrations- und Stossprüfung) nicht unmittelbar miteinander verglichen werden können, und dass für eine einwandfreie und universelle Prüfung stossfester Messinstrumente alle drei Prüfverfahren erforderlich sind.

### 3. Konstruktive Probleme

#### a) Messwerke

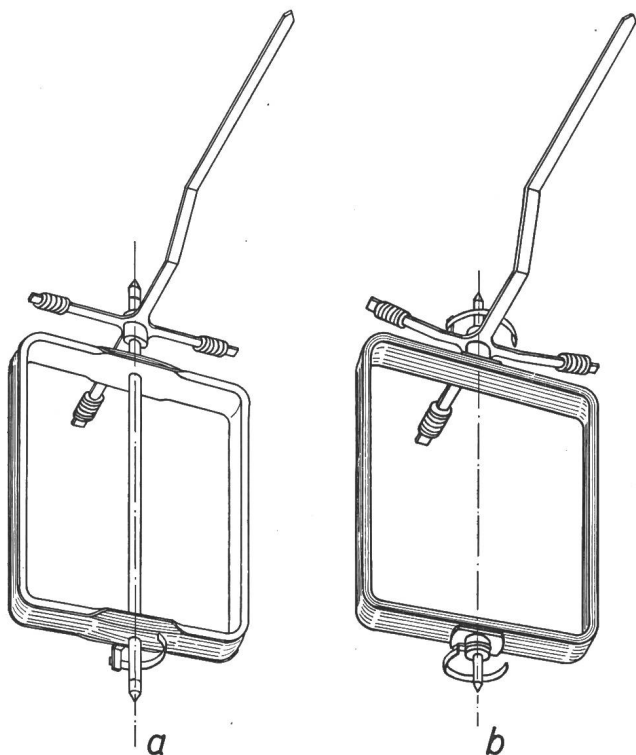
Wir wollen nun an einigen Beispielen sehen, welche konstruktiven Wege eingeschlagen werden können, um die Ansprüche, die an stossfeste Messinstrumente gestellt werden, zu erfüllen. Dabei möchten wir unser Hauptaugenmerk dem empfindlichsten Teil eines elektrischen Messinstrumentes, dem Messwerk, zuwenden und als Beispiel ein Drehspulsystem näher betrachten.

Die naheliegendste Lösung wäre eine weitgehende mechanische Isolierung des eigentlichen Messwerkes gegen alle äusseren mechanischen Einflüsse, durch federnde Aufhängung oder Polsterung.

Keine dieser Lösungen führte jedoch zum Erfolg. Die Gründe dafür sind: niedere Eigenresonanzen des ganzen Systems, komplizierter Aufbau und schwieriger Übergang vom gefederten Messwerk zum festen Gehäuse (z. B. Zeiger-Skala).

Um eine hohe Stossfestigkeit zu erreichen, musste das Systemgewicht bzw. die Systemmasse des beweglichen Messwerkzeuges radikal reduziert werden. Die einfache Regel:  $Kraft = Masse \times Beschleunigung$  zeigt, dass bei  $Masse = 0$  auch bei höchster Beschleunigung die Kraft ebenfalls 0 wird. Zugleich mussten Lösungen gesucht werden, die trotz Verkleinerung der Masse die Widerstandsmomente der einzelnen Bauteile den neuen Forderungen anpassen. Fig. 4 zeigt den Aufbau des beweglichen Messwerkzeuges, der Drehspule oder des Messwerkrotors. Die Wicklung ist imprägniert und liegt auf einem sehr dünnen, jedoch durch Rippen versteiften Rahmen einer hochwertigen, vergüteten Aluminium-Legierung. Während früher die Achsen auf der Wicklung aufgesetzt wurden, (Fig. 4b), zeigt

Fig. 4a eine Drehspule mit starrer, durchgehender Achse. Um bei kleinster Masse ein Maximum an Widerstandsmoment zu erreichen, wurde diese hohl gewählt und besteht ebenfalls aus hochwertiger, vergüteter Aluminiumlegierung. Die eigentlichen Lagerspitzen sind eingesetzt. Diese durchgehende, starre Achse bildet den ersten Grundstein zum stossfesten Messinstrument.



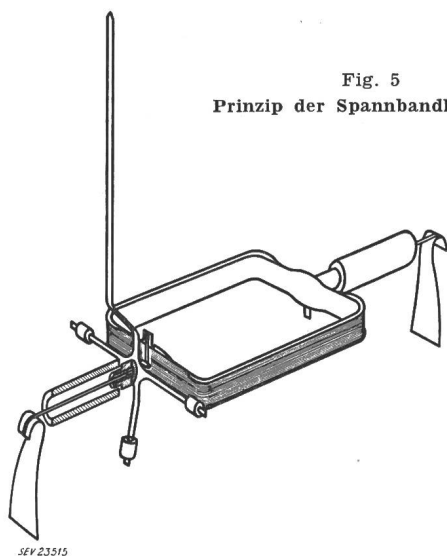
SEV 23514

Fig. 4

Aufbau des beweglichen Messwertteiles eines Drehspul-instrumentes

a starre, durchgehende Achse; b aufgesetzte Achsspitzen

Betrachten wir nun kurz die beiden Lagerarten, Spannbandlagerung und Spitzenlagerung. Das Prin-

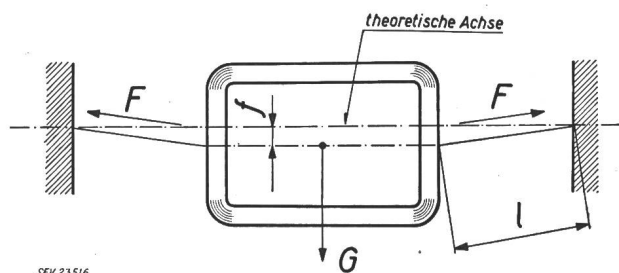


SEV 23515

Fig. 5  
Prinzip der Spannbandlagerung

zip der Spannbandlagerung zeigt Fig. 5. Die Drehspule ist an zwei kurzen Spannbandern aufgehängt, die als Lagerung, als Stromzuführung wie auch als

Gegendrehmoment dienen. Sie sind deshalb auch massgebend für die Eichung bzw. die Genauigkeit des Instrumentes. In den Zug des Bandes muss ein elastisches Glied eingefügt werden, da jenes sonst auch bei schwachen Erschütterungen, sogar allein durch Temperaturbeanspruchung, reißen kann. Als besonders günstig erwies sich, die Bandenden an weich federnden Aufnahmen zu befestigen, die für den nötigen Bandzug vorgespannt werden. Abfänger sorgen dafür, dass die zulässige mechanische Beanspruchung des Spannbandes bei Erschütterungen in zulässigen Grenzen bleibt bzw. dass die Drehspule bei Erschütterungen nicht am Magneten aufschlagen kann.



SEV 23516

Fig. 6

Spannbandlagerung bei waagrecht Achse

$$\text{Bandspannung } F = \frac{lG}{2f}$$

Fig. 6 zeigt die Verhältnisse bei Spannbandlagerung und waagrecht Achse (Normalfall bei Schalttafel-Instrumenten).

Das Durchhängen des beweglichen Organs gegenüber der theoretischen Achse ist unvermeidbar. Bei gegebenem Systemgewicht  $G$  und vorgeschriebenem Durchhang  $f$  wird die notwendige Bandspannung um so kleiner, je kürzer das Band ist. Mit kürzer werdendem Band steigt aber die Verdrehbeanspruchung und damit die elastische Nachwirkung. Andererseits kommt man bei längeren Bändern mit der notwendigerweise stärkeren Bandspannung bald an die Grenzen der Zerreiissfestigkeit. Bei der Auswahl des Bandmaterials sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen. An der Spitze steht die Forderung nach geringster elastischer Nachwirkung und hoher Zerreiissfestigkeit. Das Band muss ferner korrosionsfest und gut löthar sein. Für mV-Instrumente ist auch sein spezifischer Widerstand von Bedeutung. Als sehr günstig haben sich Edelmetall-Legierungen der Platingruppe erwiesen.

Wie verhält sich nun das Spannbandinstrument bei Vibrations- bzw. Stossbeanspruchung? Die Stossfestigkeit des Spannbandinstrumentes ist relativ hoch. Es tritt erst eine Beschädigung auf, wenn die Beschleunigung so gross wird, dass die Trägheitskräfte der Spannfedern die Zerreiissfestigkeit des Bandes übersteigen. Die Vibrationsfestigkeit in achsialer Richtung ist ebenfalls gut. Sie wird aber sehr ungünstig, wenn sie senkrecht zur Achsrichtung auftritt.

Wie bereits erwähnt, hängt das Rähmchen bei horizontaler Achse bereits unter dem Einfluss des Eigengewichtes gegenüber der theoretischen Achse durch. Schon bei einer Beschleunigung von nur  $1g$  vergrössert sich dieser Durchhang auf das Doppelte, so dass für Schalttafelinstrumente in normaler Lage



Fortsetzung von Seite 840

## Neue Wege im Bau stossfester, zeigender und schreibender Messinstrumente (Fortsetzung)

der Vibrationsfestigkeit von Spannbandinstrumenten sehr enge Grenzen gesetzt sind.

Bei der Spitzenlagerung, wie sie seit Jahrzehnten bei elektrischen Messinstrumenten verwendet wurde, bestehen die eigentlichen Lagerspitzen aus hochlegiertem Stahl. Ihre Massgenauigkeit, Politur und Härte stellen hohe Anforderungen an die Fabrikation dieser wichtigen Einzelteile. Die Lagerpfannen bestehen aus synthetischem Saphir. Im Bestreben nach Instrumenten mit grösserer Empfindlichkeit und kleinerer Lagerreibung wurden die Radien von Achse und Lagerstein immer extremer gewählt.

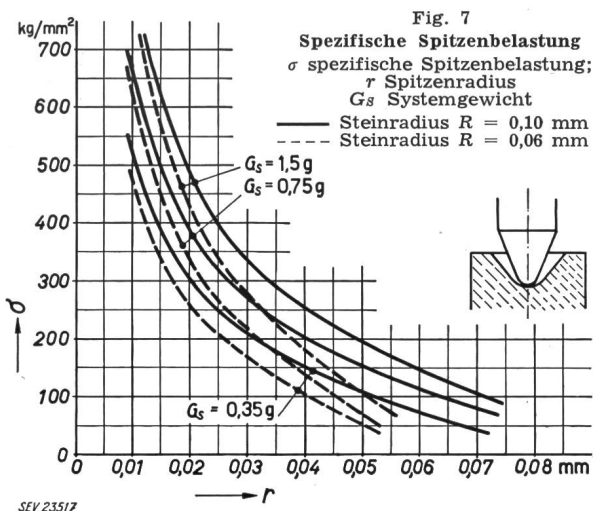


Fig. 7 zeigt einige statische, spezifische Lagerdrücke. Bei einem Systemgewicht von z. B. 0,75 g, einem Steinradius von 0,1 mm und einem Achsradius von 0,02 mm beträgt die spezifische Lagerbelastung 400 kg/mm<sup>2</sup>, also ein Wert, der im Maschinenbau nicht üblich ist.

Der Verringerung des Systemgewichtes sind Grenzen gesetzt, so dass zur Erreichung der erforderlichen Vibrations- und Stossfestigkeit neue Lösungen gesucht werden mussten. Fig. 8 zeigt eine Methode, die sich in der Praxis unter extremsten Vibrations- und Stossbedingungen einwandfrei bewährt hat. Der Lagerstein ist gefedert (das günstigste Federdiagramm kann für jedes Systemgewicht errechnet werden). Zudem ist das Messwerk bzw. die Messwerkklagerung gegen Stösse durch eine Anschlagsscheibe geschützt. Systemgewicht, Federung und Abstand vom Lager zur Anschlagsscheibe sind so gewählt, dass diese Anordnung in jeder Betriebslage, d. h. mit horizontaler oder vertikaler Achse, Beschleunigungsfestigkeiten von 20 und mehr g ohne Beschädigung erreicht.

Welchem System, der Spannbandlagerung oder der Spitzenlagerung, soll man nun den Vorzug geben?

Das Spannband wird gewiss für ganz spezielle Anwendungsgebiete Vorzüge haben. Ich denke dabei an Instrumente mit sehr hoher Empfindlichkeit bzw. mit sehr kleinem Eigenverbrauch, die infolge Wegfall der Lagerreibung mit Spannbandlagerung

gebaut werden können. Die Spannbandlagerung wird nicht verwendet im Präzisionsinstrumentenbau (elastische Nachwirkung) oder nur für Licht-

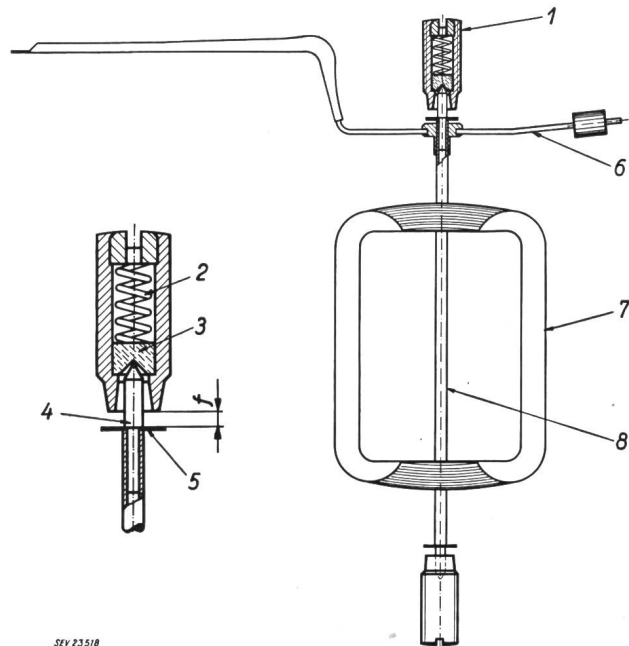


Fig. 8  
Spitzenlagerung

1 Steinschraube; 2 Feder; 3 Stein; 4 Achsspitze; 5 Anschlagsscheibe; 6 Balancearm; 7 Rähmchen; 8 Rohrachse

markeninstrumente mit sehr kleinem Messwerkschlag, und ich glaube nicht, dass sich diese Lagerung wegen der bereits erwähnten Nachteile im Instrumentenbau für den Werkbetrieb oder allgemein für stossfeste Instrumente durchsetzen wird. Demgegenüber hat man bei der Spitzenlagerung mit durchgehender Achse, gefederten Lagersteinen und Anschlagsscheibe ein Konstruktionselement, das unabhängig von seiner Lage höchsten Stossbeanspruchungen genügt. Die klare, eindeutige Trennung in mechanische und elektrische Funktion von Lager und Stromzuführung beim Spitzenlager bietet weitere bedeutende Vorteile in der Fabrikation, im Betrieb und vor allem in der Wartung.

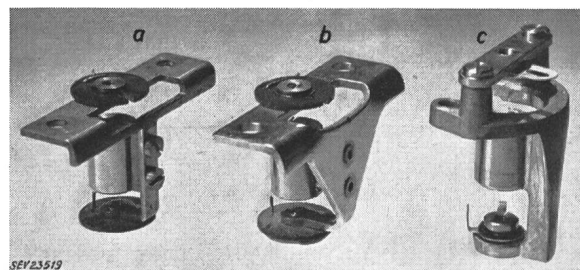


Fig. 9

Entwicklungsstufen des Messwerkstators

- a Stufe I: Messingstator, Kern geschraubt  $g^1 = 17,5$  g  
b Stufe II: Messingstator, verstärkt, Kern genietet  $g^1 = 140$  g  
c Stufe III: Spritzgußstator, Kern eingegossen  $g^1 = 300$  g  
 $g^1$  = Beschleunigungswert für 0,1 mm Einfederung der unteren Lagerstelle

Noch ein Gedanke zum Messwerkstator, dem Aufnahmeorgan des Messwerkrotors. Fig. 9 zeigt drei Entwicklungsstufen. Eingehende Versuche

mittels dieser Statoren zeigten deutlich, dass der freie Fall auf eine harte Unterlage theoretisch nicht leicht zu erfassen ist. Je nach Aufschlag konnten bei 1 m Fallhöhe Beschleunigungswerte bis zu 200 g festgestellt werden.

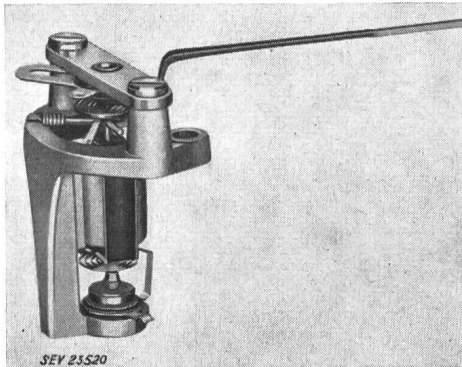


Fig. 10

Drehspulmesswerk mit gefederten Spitzenlagern

Fig. 10 zeigt ein komplettes Drehspulmesswerk mit gefederten Lagerspitzen und Spritzguss-Stator. Mit diesem Element wurden unter anderem Stösse von 10000 Aufschlägen bei einer Beschleunigung von 20 g sowie bei freiem Fall in Schutzgehäuse von 1 m Höhe auf Holzunterlage erreicht, ohne dass irgendwelche Schädigungen festgestellt werden konnten.

#### b) Zeigende Instrumente

Die Probleme der Stossfestigkeit von Messwerkgehäusen sind bedeutend einfacher, so dass auf deren theoretische Behandlung verzichtet werden kann. Fig. 11 zeigt ein stossfestes Universalinstrument.

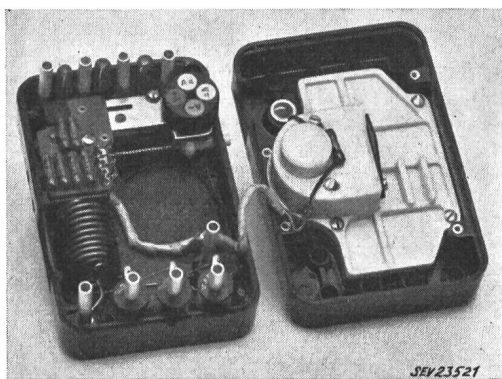


Fig. 11

Stossfestes Universalinstrument

Speziell zu erwähnen sind die Verrippungen aller Gehäuseteile, die 3-Punktbefestigung der Einbauteile sowie der für das Gehäuse gewählte Preßstoff mit einer Schlagfestigkeit von 12...15 cmkg/cm<sup>2</sup>. Fig. 12 zeigt dieses Instrument geschlossen. Zu beachten sind die runden Kanten sowie die Gesamt-disposition, die keine vorstehenden Teile aufweist.

Zur Frage der Stossfestigkeit von Instrumenten mit Skalenausschlag von 250° kann gesagt werden, dass dafür die gleichen Überlegungen wie für 90°-Instrumente Gültigkeit haben. Als Konstrukteur

fühle ich mich jedoch verpflichtet zu betonen, dass die heutigen Drehspul-, Dreheisen- und ferrodynamischen Messwerke der 250°-Instrumente in konstruktiver und fabrikatorischer Hinsicht keine optimale Lösung darstellen. Daher sind meiner An-

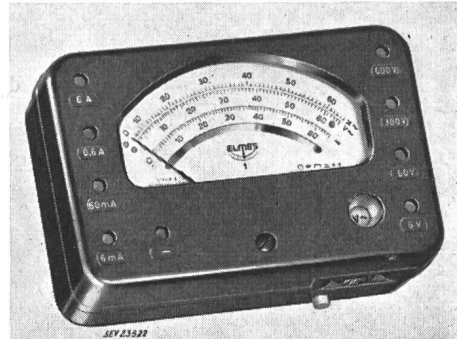


Fig. 12

Universalmeßinstrument nach Fig. 11, geschlossen

sicht nach die hohen Stoss- und Vibrationsfestigkeiten des klassischen 90°-Instrumentes mit den heutigen Konstruktionen der 250°-Instrumente nicht erreichbar.

#### c) Registrierende Instrumente

Noch ein kurzes Wort zu der Stossfestigkeit von Registrierinstrumenten. Die Zeit erlaubt leider nicht, dieses Problem theoretisch näher zu behandeln. Ich werde deshalb auf Grund einiger praktischer Beispiele zeigen, dass neue Richtungen in der Konstruktion zugleich auch neue Anwendungsgebiete erschliessen können.

Die Nachfrage nach vibrations- und stossfesten schreibenden Meßinstrumenten bestand schon seit

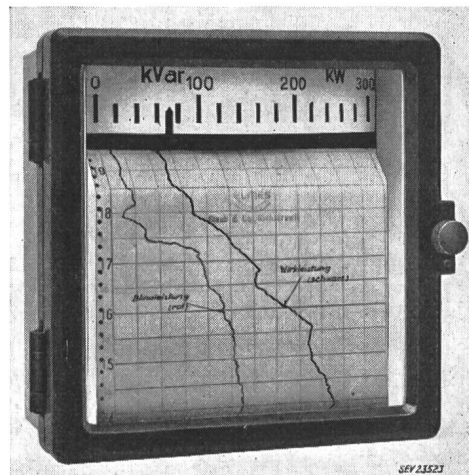


Fig. 13

Stossfestes Registrierinstrument für Schalttafeleinbau

Jahren. Besonders der Werk- und Industriebetrieb verlangte nach kleinen, aber robusten, tragbaren Registrierinstrumenten. Für die Konstruktion der Messwerke und Gehäuse gelten sinngemäss die gleichen Überlegungen wie bei zeigenden stossfesten Instrumenten. Neue Probleme stellte die eigentliche Schreibeinheit, d. h. das Schreibverfahren. Aus



naheliegenden Gründen scheidet bei den stossfesten Registrierinstrumenten der Tintenschreiber zum vornherein aus. Als tintenlose Verfahren für Linienschreiber sind u. a. bekannt: die elektrische Aufzeichnung als Funkenregistrierung, die elektrolitische Registrierung auf Metall- oder Spezialpapier und die verschiedenen Licht- und Photosysteme für die Registrierung sehr schneller Vorgänge.

Für Betriebsuntersuchungen, Fabrikationsüberwachungen sowie Messungen im Werkbetrieb wird heute fast durchwegs die Aufzeichnung in rechtwinkligen Koordinaten verlangt. Um bei Linienschreibern diesem Wunsche gerecht zu werden, sind Geradeführungen des Zeigersystems erforderlich. Dies bedingt zusätzlich zu den beiden Messwerkklagern weitere 3...6 Lagerstellen. Aus dem ersten Teil des Vortrages wissen wir, dass damit die Erreichung einer hohen Stossfestigkeit sehr erschwert, wenn nicht in Frage gestellt wird. Hinzu kommt die Bedingung, dass für eine einwandfreie Aufzeichnung die Zeigerspitze das zu beschreibende Papier stetig berühren muss, also keinen Beschleunigungsmomenten ausgesetzt werden darf. Als weiterer Nachteil dieser Systeme wird empfunden, dass die Aufzeichnung nur eines Vorganges auf dem gleichen Diagrammpapier möglich ist.

Nun gilt aber als Grundsatz: Messen heisst vergleichen. Und gerade dieser Grundsatz verlangt die gleichzeitige Aufzeichnung von Wert und Vergleichswert, nicht nebeneinander, sondern auf dem gleichen Diagramm mit gleichem Nullpunkt und gleicher Ausschlagsrichtung. Fig. 13 zeigt ein stossfestes Registrierinstrument. Die Aufzeichnung erfolgt nach dem Fallbügelprinzip mit 3-Sekundenimpulsfolge als 1...4-Farbenschreiber, und zwar in geradlinigen Koordinaten, ohne Geradeführung. Im

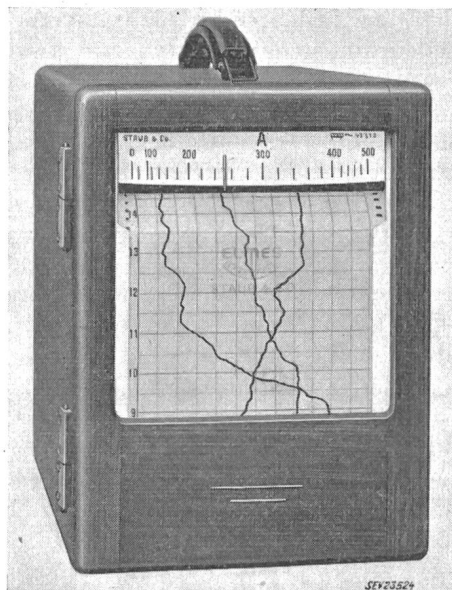


Fig. 14

Stossfestes Registrierinstrument in tragbarer Ausführung

weitem ist die Forderung der gleichzeitigen Aufzeichnung verschiedener Vorgänge, d. h. Werte und Vergleichswerte, erfüllt. Das Farbband ist durch-

laufend wie bei der Schreibmaschine und selbständig umsteuernd. Die Leistungsaufnahme eines solchen Registrierinstrumentes ist bedeutend kleiner als die eines Linienschreibers. Die Stoss- und Vibrationsfestigkeit dieses Instrumentes kann bereits relativ hohe Werte erreichen.

Fig. 14 zeigt ein stossfestes Registrierinstrument in tragbarer Ausführung, als 3-Farben-Stromschreiber bzw. als 4-Farbenschreiber für die gleichzeitige Aufzeichnung von drei Strömen und einer Spannung. Dieses praktisch wartungslose und weit-

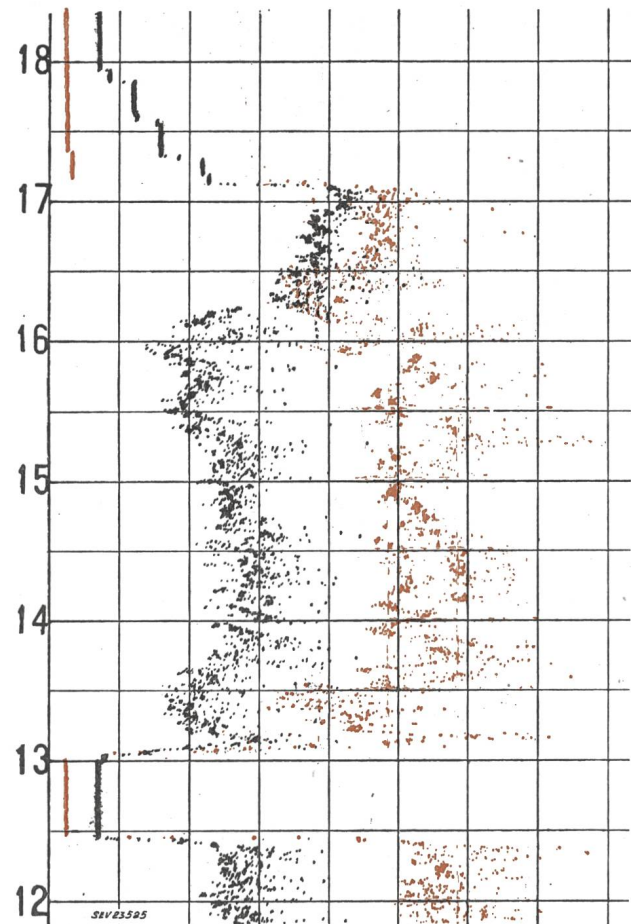


Fig. 15

Wirk- und Blindleistungsdiagramm einer mechanischen Werkstatt

Die Wirkleistung (schwarz) steigt nach der Mittagspause langsam an und erreicht ein Maximum unmittelbar vor Arbeitschluss. Die Blindleistung (rot) ist ziemlich konstant.

gehend lageunabhängige stossfeste Instrument bietet im Werk- und Industriebetrieb neue Möglichkeiten. So wurden z. B. in einem Industriebetrieb mit 90 Schweissplätzen während drei Wochen Untersuchungen durchgeführt, die zum Resultate führten, dass in 60 % der Fälle mit falschen Elektroden geschweisst wurde und dass die Akkordsätze infolge der künstlich eingeschalteten Pausen in der ganzen Abteilung auf die Hälfte reduziert werden konnten, ohne dass der Arbeiter dabei weniger verdiente.

Fig. 15 zeigt das Wirk- und Blindleistungsdiagramm einer mechanischen Werkstatt. Die Wirkleistung (schwarz) steigt nach der Mittagspause langsam an und zeigt unmittelbar vor Arbeitsschluss ein Maximum. Die Blindleistung (rot) bleibt ziemlich konstant.



Fig. 16 zeigt ein ähnliches Diagramm einer schweren Kopierdrehbank. Die hochliegende Blindleistungskurve (rot) zeigt, dass der Antriebsmotor

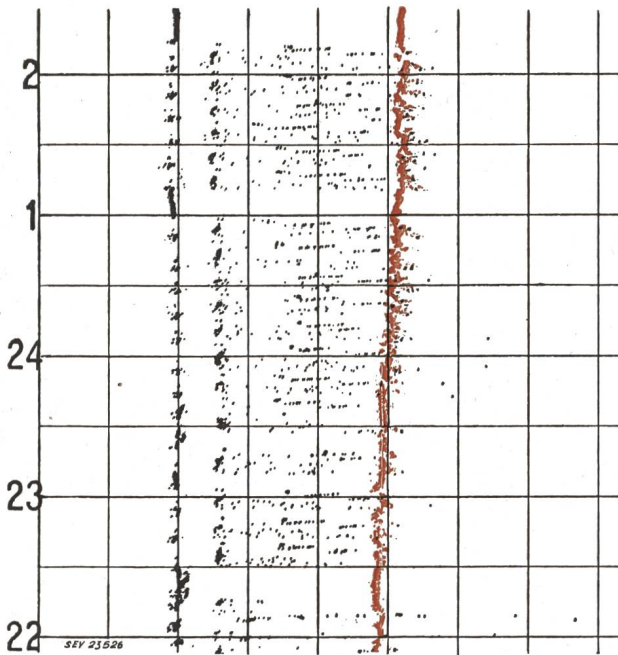


Fig. 16

Wirk- und Blindleistungsdiagramm einer schweren Kopierdrehbank

Die hochliegende Blindleistungskurve (rot) zeigt, dass der Antriebsmotor überdimensioniert ist. Die Nennleistung wird auch für kurze Stösse nicht voll in Anspruch genommen;  $\cos \varphi \approx 0,35$

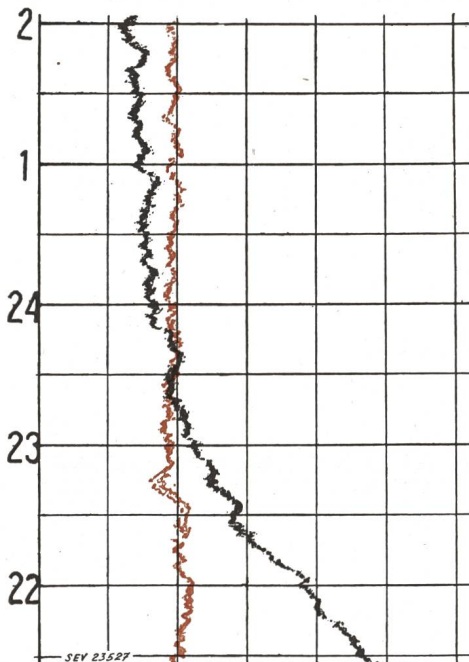


Fig. 17

Wirk- und Blindleistungsdiagramm einer Transformatorstation in einer ländlichen Gegend

Die Wirkleistung (schwarz) nimmt gegen die Nachtstunden ab. Die Blindleistung (rot) ist praktisch konstant;  $\cos \varphi$  um 22.30 Uhr = 0,7;  $\cos \varphi$  um 01.00 Uhr = 0,45

überdimensioniert ist. Die Nennleistung wird auch für kurze Stösse nicht voll in Anspruch genommen ( $\cos \varphi = 0,35$ ).

Fig. 17 zeigt das Wirk- und Blindleistungsdiagramm einer Transformatorstation in ländlicher Gegend. Die Wirkleistung (schwarz) nimmt

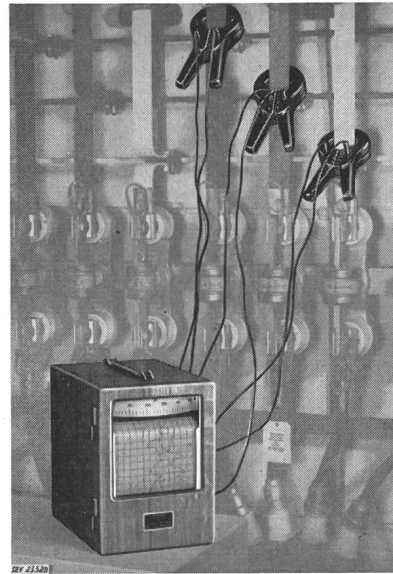


Fig. 18

Registrierinstrument mit Zangenstromwandler zum Anschluss ohne Betriebsunterbrechung

gegen die Nachtstunden ab. Die Blindleistung ist praktisch konstant.  $\cos \varphi$  war um 23.30 Uhr = 0,7, um 01.00 Uhr = 0,35.

Fig. 18 zeigt ein Registrierinstrument mit Zangenstromwandler zum Anschluss ohne Betriebsunterbrechung.

#### 4. Zukunftsaussichten und Zusammenfassung

Die systematische Weiterentwicklung der vibrations- und stossfesten elektrischen Messinstrumente stellt eine ganz bedeutende Qualitätsverbesserung dar, die allen Abnehmern zugutekommen wird. Dieses Ziel wird erreicht durch:

1. Konstruktion auf Grund wissenschaftlicher Berechnungen und systematischer Versuche (die Erfahrung hat gezeigt, dass ein Optimum nur erreicht werden kann, wenn an Stelle des Gefühls die errechnete Zahl oder das Versuchsergebnis gesetzt wird).

2. Weiterentwicklung der Prüfverfahren und Prüfvorschriften (Beschleunigungsprüfung, Vibrationsprüfung und Stossprüfung).

3. Moderne Fabrikationsmethoden. (Fließfertigung in hellen, weitgehend staub- und eisenfreien Räumen.)

4. Freude und Begeisterung am Produkt bei allen Betriebsangehörigen, vom Direktor bis zum Hilfsarbeiter.

#### Literatur

- [1] Weiss, A., von: Prüfverfahren und Ausführung stossfester Messwerke. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 23, S. 972...977.
- [2] Weingärtner, F.: Spannbandlagerung bei Dreheisen-Betriebsinstrumenten. ATM Lfg. 223(August 1954), Blatt J 731-7, S. 189...192.

Adresse des Autors:

Th. Staub, Elmes, Staub & Co., Richterswil (ZH).