



Anwendungstechnik Schreiber Licht- und Flüssigkeitsstrahl- Oszillographen

Band 2

Betriebsanleitung

Anwendungstechnik

Licht-, Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen und Schreiber

Inhalt:

Einleitung

Grundlagen des dynamischen Messens mit Oszillographen

Piezoelektrische Messungen

Messwertaufnehmer für Schwingbeschleunigung -
Geschwindigkeit und -Weg

Einsatz des Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen
in Instituten für Hydraulik

Testen von Verzahnmaschinen mit dem elektrischen
Längenmessgerät in Verbindung mit schnellen
Kompensationsschreibern

Einsatz von Lichtstrahl-Oszillographen bei der
Untersuchung von Dieselmotoren

Einsatz des Betriebskompensographen II in Prüfständen
für Geschirrspül- und Waschautomaten

Anlage zum Messen der Erschütterungen am Gehäuse eines
Elektromotors mit Quarzbeschleunigungsaufnehmer, La-
dungsverstärker und Digitalanzeige des Spitzenwertes

SIEMENS-Kompensations-Linienschreiber Kompensograph III
in der Textilindustrie

Einsatz des OSCILLOREG M 02022 zur zerstörungsfreien
Materialprüfung

Messung hoher Spannungen auf hohem Potential mit
OSCILLOMINK

Messung mechanischer Spannungen an Kraftfahrzeugen
mit dem OSCILLOMINK

Registrieren von Motorströmen einer Walzenstrasse mit
Lichtstrahl-Oszillographen

E i n l e i t u n g :

Nachdem der Band 1 mit Anwendungsbeispielen aus der dynamischen Messtechnik sicher einige Anregungen bei der richtigen Auswahl von Messeinrichtungen brachte, setzen wir mit der Herausgabe des zweiten Bandes unsere Serie fort.

Neu hinzugekommen sind Anwendungsbeispiele mit Schreibern, speziell von Kompensationsschreibern, in verschiedenen Bereichen der Technik.

Wir hoffen, daß auch dieser Band 2 dazu beiträgt, bei der Lösung von Messaufgaben mitzuhelfen. Unseren Kunden sind wir für ihre Mitarbeit auch an dieser Stelle nochmals zu großem Dank verpflichtet.

Grundlagen des dynamischen Messens mit Oszillographen

A. Hederer

Die Notwendigkeit, gleichzeitig mehrere - oft sogar sehr viele - Meßgrößen in ihrem zeitlichen Verlauf zu erfassen verstärkt sich ständig. Da das dynamische Messen z.B. auch Voraussetzung für die Automation ist, ist diese Entwicklung ohne weiteres erklärlich.

Im hervorragenden Maße findet man die dynamische Meßtechnik in der Luftfahrt, Raumfahrt, Kfz-Industrie, Schiffbau, Motorenbau, Turbinenbau, Generatorenbau, Medizin und Sprachforschung. Neben den rein elektrischen Größen Strom und Spannung müssen im zunehmenden Maße auch mechanische und thermische Größen in ihrem zeitlichen Verlauf erfaßt werden, also z.B. Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Dehnung, mechanische Spannung, Druck und Temperatur. Die Gründe für die Notwendigkeit der dynamischen Messungen sind vielseitig: einmal können die Informationen ermittelt werden zum besseren Verständnis des Verhaltens eines physikalischen Systems oder auch zur Kontrolle bzw. Steuerung des Systems oder Prozesses. In jedem dieser Fälle wird die erfaßte physikalische Größe ein oder mehrere Male umgewandelt bis das passende und korrespondierende Signal zur Verfügung steht. Die einzelnen Glieder, welche die Umwandlung der Energie vornehmen, bilden eine sogenannte Meßkette. Ein sehr häufiger Fall ist in Bild 1 wiedergegeben. Die im Dehnungszustand enthaltene mechanische Energie wird im Meßwertaufnehmer (Wheatstonesche Brücke) in elektrische Energie umgewandelt und diese im nachgeschalteten Verstärker verstärkt und dem Galvanometer des Oszillographen angepaßt und schließlich in diesem wieder in mechanische Energie zurückverwandelt (Ausschlag). Wären alle diese Energieumwandlungen unabhängig vom zeitlichen Verlauf der Signale, würde der zeitliche Verlauf der Meßgröße (hier die Dehnung) nicht gestört werden und die Beziehung

$$(1) \quad x_a(t) = \text{const } x_e(t)$$

gelten. Im mechanischen Falle (z.B. beim Galvanometer) verhindern Reibung und Trägheit die Gültigkeit von Gleichung (1), im elektrischen Falle (z.B. beim Verstärker) sind es Kapazitäten und Induktivitäten. Statt der Gleichung (1) gilt eine Differentialgleichung. Diese ist linear und hat konstante Koeffizienten, wenn für das zu beschreibende Glied der Meßkette die statische Kennlinie im Aussteuerungsbereich linear ist. Das trifft u.a. für das Galvanometer zu, bei dem für kleine Ausschläge s Proportionalität zwischen Strom I besteht:

$$(2) \quad s = \text{const } I.$$

Auch für den Dehnungsmeßstreifen gilt die Linearität der statischen Kennlinie, wenn die Dehnungen ξ im Hookeschen Bereich bleiben

$$(3) \quad \frac{\Delta R}{R} = \text{const} \cdot \xi.$$

Die Differentialgleichung hat dann die Form

$$(4) \quad A_0 x_a + A_1 \frac{dx_a}{dt} + A_2 \frac{d^2 x_a}{dt^2} + \dots + A_n \frac{d^n x_a}{dt^n} \\ = B_0 x_e + B_1 \frac{dx_e}{dt} + B_2 \frac{d^2 x_e}{dt^2} + \dots + B_m \frac{d^m x_e}{dt^m}$$

In der Meßkette gilt für jedes einzelne Glied eine solche Differentialgleichung.

Beim schnellschwingenden Galvanometer (3. Glied in der Meßkette nach Bild 1) läßt sich die zugehörige Differentialgleichung auf die folgende Form bringen

$$(5) \quad \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\lambda \frac{dy}{dt} + y(t) = z(t)$$

$y(t) = x_a(t) =$ erzielter Ausschlag auf dem Registrierpapier

$z(t) = x_e(t) =$ Soll-Ausschlag auf dem Registrierpapier

$\lambda =$ Dämpfungsgrad (optimaler und angestrebter Wert $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,7$).

Zu einer Beurteilung des Übertragungsverhaltens der einzelnen Glieder der Meßkette und der Meßkette selbst gelangt man, wenn man die Differentialgleichung (4) für den Fall einer sinusförmigen Erregung des Meßsystems, also für

$$(6) \quad x_e(t) = A_0 \sin \omega t, \quad \omega = 2\pi f \text{ Kreisfrequenz,}$$

löst. An die Stelle der für statische Messungen gültigen Gleichung (1) tritt dann der Zusammenhang

$$(7) \quad x_a(t) = F(j\omega) \cdot x_e(t).$$

$F(j\omega)$ heißt Übertragungsfunktion. Sie steht anstelle der Konstanten in Gleichung (1) und ist komplex, wie die imaginäre Einheit j zum Ausdruck bringt. Ihr reeller Anteil liefert den bekannten Amplituden-Frequenzgang (auch Amplitudenkurve genannt) und ihr imaginärer Anteil den Phasen-Frequenzgang (Phasenkurve).

Für das schnellschwingende Galvanometer, charakterisiert durch Gleichung (5), hat die Übertragungsfunktion folgende Form:

$$(8) \quad F(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\omega j\lambda - \omega^2} \quad 1)$$

Durch Auftrennung in Real- und Imaginärteil ergeben sich Amplituden- und Phasenkurven wie folgt:

$$(9) \text{ Amplitudenkurve: } \frac{A}{A_0} = \frac{1}{\sqrt{(1-K^2)^2 + (2\lambda K)^2}}$$

1) Man erhält dieses Ergebnis sofort, wenn man anstelle des Ansatzes (6) den gleichwertigen

$$x_e(t) = x_{e0} \cancel{\sin \omega t} e^{j\omega t}$$

benutzt.

$$(10) \text{ Phasenkurve: } \tau^* = \frac{1}{K} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2\lambda K}{1-K^2}$$

Es bedeuten

A erzielte Amplitude auf dem Registrierpapier

A_0 Soll-Amplitude auf dem Registrierpapier

$K = \frac{f}{f_0}$ Verhältnis aus Meßfrequenz zu Eigenfrequenz

$\tau^* = 2\pi \frac{t^*}{T_0}$ die auf die Eigenschwingungsdauer T_0
bezogene zeitliche Verzögerung.

In Bild 2 sind die Amplitudenkurven mit λ als Parameter wiedergegeben. Man kann leicht bestätigen, daß die Kurve mit $\lambda = 0,7$ einen günstigen Verlauf hat, d.h. bis zu relativ großen Werten von f die Übertragung mit kleinem Fehler ($A \approx A_0$) zuläßt. Mit der Gleichung (9) kann man überdies noch eine Fehlerabschätzung durchführen, die für die Beurteilung des Meßgerätes von Bedeutung sein kann. Setzt man nämlich den Dämpfungsgrad $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}$ voraus und setzt für den relativen Amplitudenfehler

$$(11) \quad r = \frac{A_0 - A}{A_0},$$

so errechnet man

$$(12) \quad K = \sqrt[4]{\frac{2r - r^2}{(1-r)^2}}$$

und für kleine Fehler, d.h. $r \ll 1$:

$$(13) \quad K = 1,2 \sqrt[4]{r} \text{ oder } r = 0,8 K^4$$

Für vorgegebene oder zugelassene Amplitudenfehler r erhält man aus diesen Formeln leicht den ausnutzbaren Frequenzbereich des schwingenden Systems, und zwar in % der Eigenfrequenz f_0 :

r (%)	1	2	3	5	10	30
K (%)	38	45	50	68	83	100

Ein Schwinger, der z.B. durch seine Typbezeichnung S 2000 so charakterisiert ist, daß seine Eigenfrequenz f_0 bei 2000 Hz liegt, kann dann bis zu Frequenzen von 1000 Hz eingesetzt werden, wenn der Amplitudenfehler 3% nicht überschreiten soll.

In Bild 3 sind die Phasenkurven, ebenfalls mit α als Parameter, wiedergegeben. Auch aus ihnen kann man entnehmen, daß $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ein günstiger Wert ist. Günstig heißt hier, daß für alle Frequenzen f die zeitliche Verzögerung τ^* annähernd gleich ist. Auch hier ist es nützlich, den Fehler abzuschätzen. Dazu wird besser der Phasenwinkel

$$(14) \quad \varphi^* = K \tau^* = \omega t^* \quad \text{bzw.}$$

$$\operatorname{tg} \varphi^* = \frac{2 \alpha K}{1 - K^2}$$

eingeführt. Als Fehler definiert man die Abweichung vom Idealfall konstanter Dämpfung

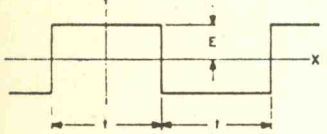
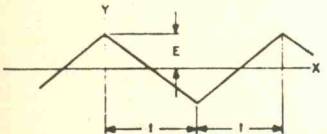
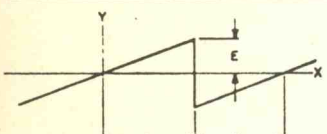
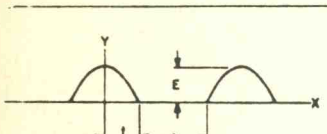
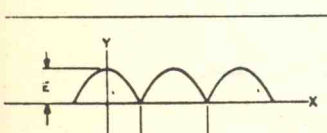
$$(15) \quad \frac{t^*}{T_0} = \frac{1}{4} \quad \text{oder} \quad \tau^* = \frac{\overline{II}}{2},$$

also

$$(16) \quad \Delta \varphi^* = \varphi^* - K \frac{\overline{II}}{2} = K \left(\tau^* - \frac{\overline{II}}{2} \right).$$

Bild 4 zeigt den Verlauf für den praktischen Fall $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Für alle Frequenzen $f \leq f_0$ ist die Phasendrehung kaum größer als 2° .

Da man im allgemeinen keine harmonischen Schwingungen aufzeichnen will, sondern komplexe Wellenformen, ist es nur selten möglich, die zu erwartende Meßfrequenz wirklich abzuschätzen. Dagegen hat man im Anwendungsfall recht gute Vorstellungen über die Frequenz der Grundschwingung. Wie man weiß, sind nach der Fourier-Analyse die Oberwellen Vielfache der Grundfrequenz und sie gehen mit abnehmendem Gewicht (kleiner werdender Amplitude) in das Ergebnis der Übertragung ein. Die folgende Tabelle zeigt für einige bekannte Kurvenformen die Oberwellen-Anteile. Bei einigermaßen getreuer Wiedergabe der Kurvenform wird man zwischen 5 - 10 Oberwellen mit zunehmendem Amplitudenfehler übertragen müssen. Als grobe Abschätzung kann man für die Festlegung des

Waveform	Name	Harmonic Composition (magnitude)						
		Fund.	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th
	Square Wave	$\frac{4}{\pi} E$ (127%)	0 (0%)	$\frac{4}{3\pi} E$ (42.5%)	0 (0%)	$\frac{4}{5\pi} E$ (25.5%)	0 (0%)	$\frac{4}{7\pi} E$ (18.2%)
	Triangular Wave	$\frac{8}{\pi^2} E$ (81%)	0 (0%)	$\frac{8}{9\pi^2} E$ (9%)	0 (0%)	$\frac{8}{25\pi^2} E$ (3.2%)	0 (0%)	$\frac{8}{49\pi^2} E$ (1.6%)
	Saw-tooth Wave	$\frac{2}{\pi} E$ (63.6%)	$\frac{1}{\pi} E$ (31.8%)	$\frac{2}{3\pi} E$ (21.2%)	$\frac{1}{2\pi} E$ (15.9%)	$\frac{2}{5\pi} E$ (12.7%)	$\frac{1}{3\pi} E$ (10.6%)	$\frac{2}{7\pi} E$ (9.1%)
	Half-Wave Rectifier Output	$\frac{1}{\pi} E$ (31.8%)	$\frac{2}{3\pi} E$ (21.2%)	0 (0%)	$\frac{2}{15\pi} E$ (4.2%)	0 (0%)	$\frac{2}{35\pi} E$ (1.8%)	0 (0%)
	Full-Wave Rectifier Output	$\frac{2}{\pi} E$ (63.6%)	$\frac{4}{3\pi} E$ (42.3%)	0 (0%)	$\frac{4}{15\pi} E$ (8.5%)	0 (0%)	$\frac{4}{35\pi} E$ (3.6%)	0 (0%)

$E \equiv A_0$ im Text.

Frequenzübertragungsbereiches fordern, daß die Frequenz der 5. Oberwelle mit der Eigenfrequenz des schwingenden Systems übereinstimmen sollte.

Aus der Tabelle entnimmt man dann für die Rechteckkurve mit 1000 Hz Folgefrequenz (Grundschwingung) eine notwendige Eigenfrequenz f_0 des übertragenden Systems von 10kHz.

Übertragungsfunktion der Meßkette

Die bisher durchgeführten Überlegungen gelten für jedes einzelne Glied der Meßkette, also nach Bild 1:

$$(17) \quad \begin{aligned} x_{a1} &= F_1 (j\omega) x_{e1} \\ x_{a2} &= F_2 (j\omega) x_{e2} \\ x_{a3} &= F_3 (j\omega) x_{e3} \end{aligned}$$

Wenn die einzelnen Glieder der Meßkette rückwirkungsfrei aufeinander folgen ist

$$(18) \quad \begin{aligned} x_{a1} &= x_{e2} \\ x_{a2} &= x_{e3} \\ x_{a3} &= x_{e4} \end{aligned}$$

und folglich

$$(19) \quad \boxed{x_{a3} = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 x_{e1}} \quad \text{oder}$$
$$(20) \quad \boxed{F_{ges} = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \dots}$$

In Worten: Die Übertragungsfunktion einer Meßkette ist gleich dem Produkt der Übertragungsfunktion der einzelnen Glieder.

Die praktische Verwertung dieser Erkenntnis ist leicht möglich, wenn man für den Amplitudenfehler (auch Dämpfung genannt)

$\frac{x_a}{x_e}$ oder $\frac{A}{A_0}$ ein logarithmisches Maß einführt, nämlich

$$(21) \quad \gamma = 20 \log \frac{A}{A_0} \quad \text{in decibel (db)}$$

Eine Tabelle zur Umrechnung der absoluten Dämpfungswerte in db ist im folgenden angegeben:

$\frac{A}{A_0}$	0,10	0,30	0,50	0,70	0,75	0,80	0,95	0,99	1
db	-20	-10,45	-6	-3,1	-2,51	-1,94	-0,42	-0,1	0
$\frac{A}{A_0}$	1,01	1,05	1,12	2	5	10	100	10^3	10^6
db	0,1	0,4	1	6	14	20	40	60	120

Die komplexe Übertragungsfunktion kann man in der Form schreiben

$$(22) \quad F(j\omega) = |F| e^{j\varphi} \quad |F| = \text{Betrag der Übertragungsfunktion.}$$

Mit den rein mathematischen Bezeichnungen $\log a^x = x$ und $\log a \cdot b = \log a + \log b$ erhält man dann

$$(23) \quad \begin{aligned} \log F_g(j\omega) &= \log F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \\ &= \log |F_1| \cdot |F_2| \cdot |F_3| \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)} \\ &= \log |F_1| + \log |F_2| + \log |F_3| \\ &\quad + j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) \end{aligned}$$

Diese Bezeichnung besagt:

Der gesamte Amplitudenfehler einer Meßkette im logarithmischen Maß ist gleich der Summe der Amplitudenfehler der einzelnen Glieder in diesem Maß, oder kurz, gleich der Summe der db. Der gesamte Phasenfehler ist gleich der Summe der Phasenfehler in grad-Phasendrehung der einzelnen Glieder.

Hat also im Beispiel nach Bild 1 jedes der drei Glieder die gleichen Übertragungseigenschaften, nämlich $f_{01} = f_{02} = f_{03} = 2000$ Hz, so beträgt der Amplitudenfehler bei dieser Grenzfrequenz $(-3 \text{ db}) + (-3 \text{ db}) + (-3 \text{ db}) = -9 \text{ db}$ oder rund 60%. Nach Bild 2 ist das gleichbedeutend mit der Aussage, daß die Frequenz $f = 2000$ Hz bei $1,5 f_{0\text{ges}}$ liegt. Soll der Amplitudenfehler der Meßkette aber 3% nicht überschreiten, dann kann man nach der obigen Tabelle nur $0,5 f_0$ übertragen, also im Beispiel nur

$$0,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2000 \text{ Hz} = \underline{\underline{660 \text{ Hz!}}}$$

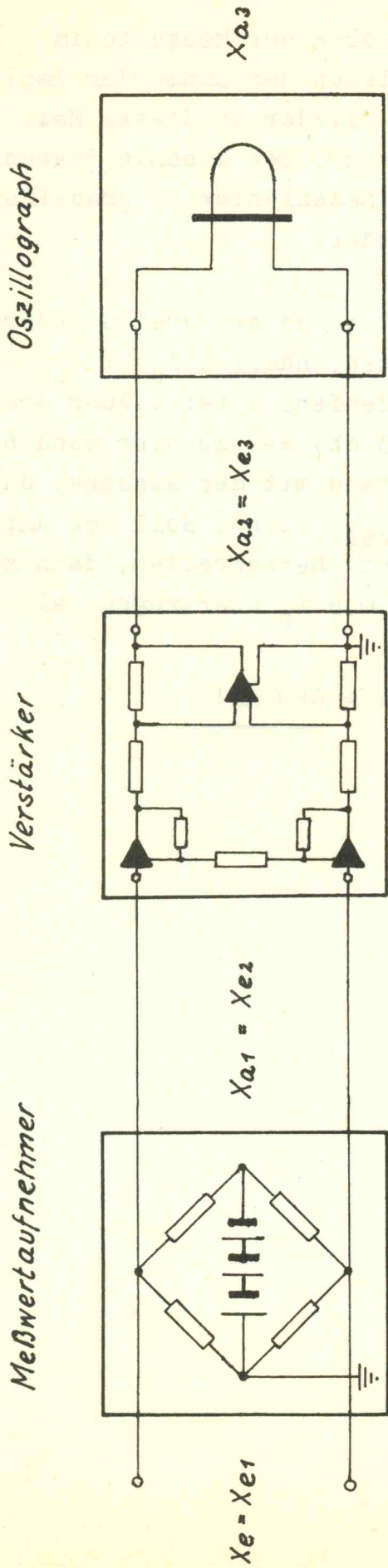


Bild 1: Meßkette mit DMS-Brücke als Meßwertaufnehmer, Differenzverstärker und Lichtstrahlloszillograph.

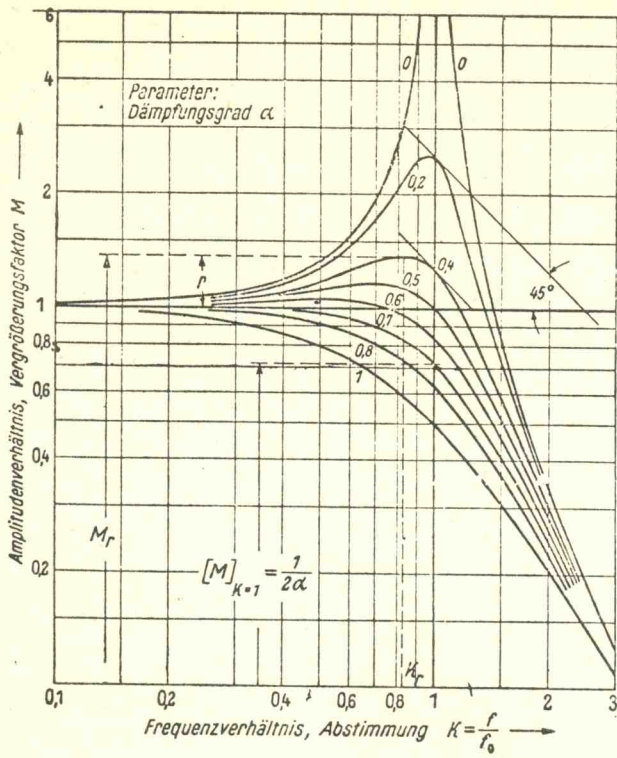


Bild 2

Amplitudenkurven
des schnell-
schwingenden Galva-
nometers
 $M = \frac{A}{A_0}$, siehe Text.

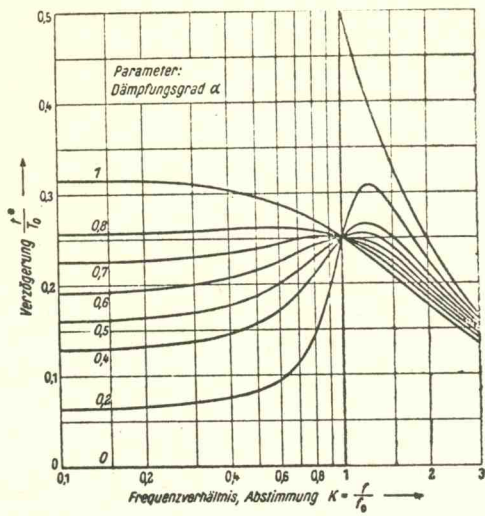


Bild 3

Phasenkurven des schnell-
schwingenden Galvanometers

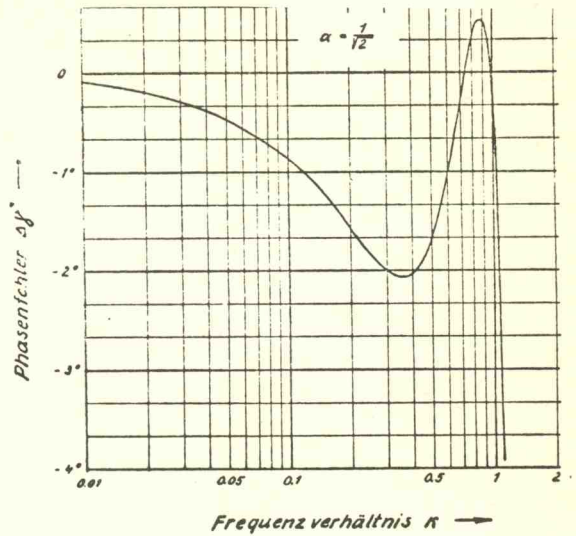


Bild 4.

Frequenzgang des Phasenfehlers für $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Anwendungstechnik Licht- und
Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen
Oktober 1969 Ms 7/1014

Piezoelektrische Messungen

Inhalt:

1. Grundlagen
 - 1.1 Piezoelektrische Körper
 - 1.2 Eigenschaften von Quarz
 - 1.3 Quarz-Piezoelemente
2. Quarz-Druckaufnehmer
3. Quarz-Lastaufnehmer
4. Quarz-Beschleunigungsaufnehmer

1. Grundlagen

Bei der elektrischen Messung mechanischer Grössen nützt man einen physikalischen Effekt, der darauf beruht, daß an einem Festkörper elektrische Polarisation auftritt, wenn eine Kraft auf diesen Körper wirkt. Entgegen einer weitverbreiteten Meinung kennt man eine überaus große Zahl derartig piezoelektrisch aktiver Körper. Es können dies sowohl anorganische als auch organische Stoffe sein.

1.1. Piezoelektrische Körper

Trotz der großen Zahl der bis heute bekannt gewordenen piezoelektrischen Stoffe sind aber nur sehr wenige zum Einsatz für Messzwecke geeignet. Dies hat seinen Grund darin, daß einmal nur jene Körper auszusuchen sind, bei denen der Piezoeffekt entsprechend groß ist, die also bei einer Messung gute Empfindlichkeit erreichen lassen, zum anderen sind die übrigen Materialeigenschaften für eine praktische Verwendung in Messgeräten ebenfalls von Bedeutung. Der Körper darf zum Beispiel nicht hygroskopisch sein, muß auch höhere Temperaturen vertragen, muß ein guter elektrischer Isolator sein, die elektrische Ladungsbildung muß der auslösenden Kraft proportional sein etc.. Alle diese zusätzlichen Anforderungen beschränken die Zahl der uns von der Natur angebotenen piezoelektrischen Stoffe außerordentlich.

Außerhalb des Bereiches der Messtechnik, z.B. in der Elektroakustik oder Hochfrequenztechnik, finden verschiedene piezoelektrische Materialien Anwendung:

Seignettesalz (Kalium-Natrium-Tartrat)

Lithiumsulfat

ADP (Ammoniumdihydrophosphat)

KDP (Kaliumdihydrophosphat)

EDT (Aethylendiamintartrat)

Für messtechnische Zwecke bleiben noch:

Quarz

Turmalin

Piezo-Keramik (Ba-Titanat, Pb-Titanat, Pb-Zirkonat, Pb-Metaniobat).

Turmalin wurde früher oft für ballistische Untersuchungen eingesetzt, wird aber in neuerer Zeit wegen seines störenden pyroelektrischen Effekts praktisch nicht mehr verwendet. Piezo-Keramik wird für dynamische Messungen, besonders in billigen Accelerometern, gern wegen seiner sehr hohen Empfindlichkeit verwendet; von Nachteil ist jedoch der geringe elektrische Isolationswiderstand, welcher eine statische Eichung unmöglich macht, und ferner die relativ hohe Temperaturempfindlichkeit sowie Alterungs- bzw. Depolarisationserscheinungen. Bei strenger Wahl bleibt vorläufig, beim heutigen Stand, praktisch nurmehr ein einziger Festkörper für die Verwendung in piezoelektrischen Präzisionsmessgeräten übrig: der Quarzkristall.

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich daher ausschließlich auf Quarz als Piezo-Material bzw. Wandlerelemente, die auf Quarzbasis arbeiten.

1.2 Eigenschaften von Quarz

Quarzkristall kommt in der Natur reichlich vor, jedoch können nur besonders reine und ausgesuchte Stücke für die Verarbeitung zu Piezoelementen verwendet werden. Vor allem sogenannte elektrische Zwillinge, die später näher beschrieben werden, müssen sorgfältig ausgeschieden werden. Die in Abbildung 1 dargestellten Quarzkristalle zeigen die optisch links- und rechtsdrehende Konfiguration mit ihren Kristallachsen.

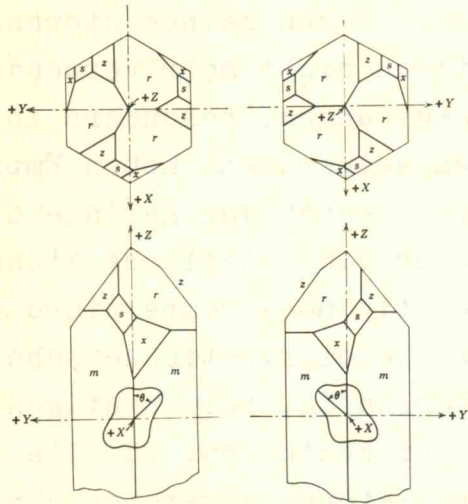


Abb. 1

Quarzkristall mit Achsen X, Y, Z;
links- und rechtsdrehende
Konfiguration, spiegelbildlich
symmetrisch

Die z-Achse besitzt bestimmte optische Eigenschaften (Drehung der Ebene des polarisierten Lichtes, welches den Kristall in Richtung der z-Achse durchsetzt); man bezeichnet sie daher als optische Achse. Die x-Achsen werden als elektrische oder polare Achsen bezeichnet. Es gibt für jeden Kristall drei derartiger Achsen, die jeweils durch die Kanten des 6seitigen Prismas laufen; sie werden mit $x_1 - x_2$ und x_3 bezeichnet. Die Polarisationserscheinungen, welche das Charakteristikum des piezoelektrischen Körpers sind, treten entlang dieser Achsen auf. Bei entsprechender mechanischer Beanspruchung des Kristallkörpers erscheinen auf den zur x-Achse senkrechten Flächen entgegengesetzte elektrische Ladungen. Die y-Achsen stehen normal sowohl zu den x-Achsen als auch zur z-Achse. Sie laufen jeweils senkrecht durch zwei gegenüberliegende Flächen des 6seitigen Prismas und werden mit $y_1 - y_2$ und y_3 bezeichnet. Sie zeigen keinerlei bevorzugte Eigenschaft und werden daher als neutrale oder mechanische Achsen bezeichnet.

Zur Schnittführung bei der Herstellung von Piezoelementen aus Naturquarz müssen die Achsen bekannt sein. Ihre genaue Lage im Kristall wird durch Röntgen-Analyse ermittelt. Da an den senkrecht zur x -Achse stehenden Flächen (x -Flächen) die Polarisation auftritt, tragen diese Schnittflächen die Ableitelektroden des Elementes. Die zu messende Kraft kann dabei entweder in Richtung der x -Achse oder aber in Richtung der y -Achse wirken, wie dies in Abb.2 schematisch dargestellt ist.

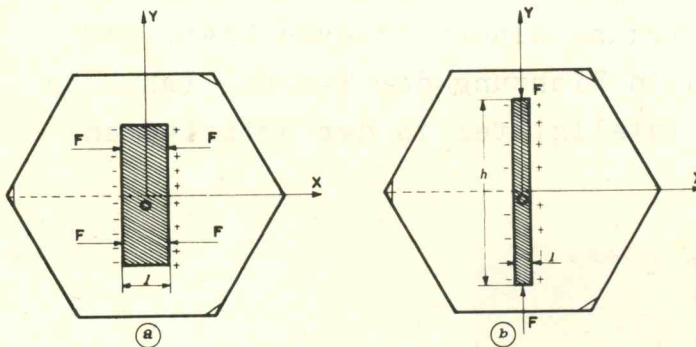


Abb. 2

Schnittführung zur Herstellung von Piezoelementen aus Naturquarz

- a) für piezoelektr. Longitudinaleffekt
- b) für piezoelektr. Transversaleffekt

In neuerer Zeit werden zur Herstellung von Piezoelementen anstelle von Naturkristallen vielfach künstlich gezüchtete Quarzkristalle als Rohmaterial verwendet. Nach dem Hydrothermalzuchtverfahren können bei hohen Temperaturen aus Quarzmehl in alkalischer, wässriger Lösung an einem geeigneten Impfkristall im Autoklaven unter langsamer Abkühlung Zuchtkristalle erhalten werden. Der Vorteil dieser Zuchtkristalle ist ihre vollkommene Gleichförmigkeit in Bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften. Durch geeignete Form der

Impfkristalle ist es ferner möglich, plattenförmige Zuchtkristalle zu erhalten, deren Hauptebenen bereits mit den gewünschten kristallografischen Achsen zusammenfallen und die daher eine einfache Verarbeitung gestatten.

Eine anschauliche Darstellung der piezoelektrischen Effekte beim Quarz vermittelt ein schematisches Kristallgitter, welches aus Silizium- und Sauerstoffatomen zusammengesetzt ist. In den Abbildungen 3a und 3b sind die positiv geladenen Siliziumatome schwarz, die negativ geladenen Sauerstoffatome grau dargestellt. Die eingezeichneten Elektroden zur Ladungsabnahme liegen an den x-Flächen des Kristalls, die x-Achse läuft dazu senkrecht. Abb. 3a zeigt die Ladungsentstehung an den Elektroden durch Einwirkung einer äusseren Kraft auf das Piezoelement. Drückt man in Richtung der x-Achse (Abb. 3a links unten), so wird das Kristallgitter in der skizzierten Weise verformt.

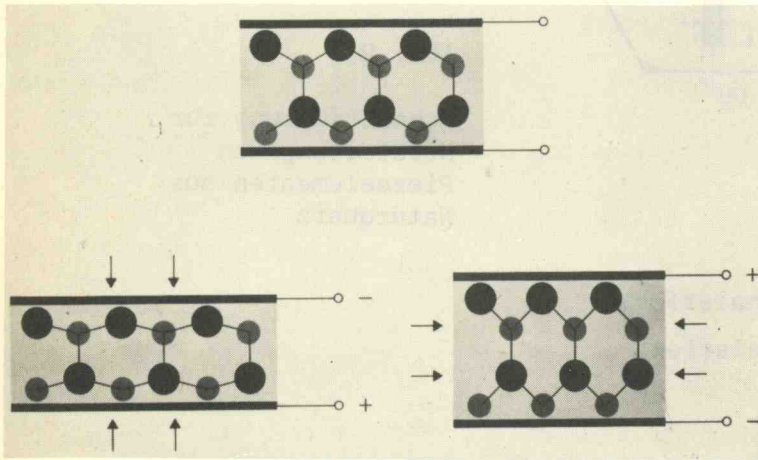


Abb. 3a

Schematisches Kristallgitter am Quarz-Piezoelement;
schwarz: Si-Atome (positiv), grau: O-Atome (negativ)
links unten: Ladungsentstehung beim Longitudinaleffekt
rechts unten: Ladungsentstehung beim Transversaleffekt

Auf einer x-Fläche (obere) wird dabei durch die Verschiebung :
der Atomladungen eine negative Ladung frei, da negative Sauerstoffatome näher an die Kristalloberfläche rücken; auf der anderen, gegenüberliegenden x-Fläche (unteren) entsteht eine

positive Ladung, da hier die positiven Siliziumatome näher an die Kristallfläche rücken. Man bezeichnet diesen Vorgang als longitudinalen, direkten Piezoeffekt, da auch die mechanische Beanspruchung längs der x-Achse erfolgt.

Wenn die mechanische Beanspruchung längs der y-Achse (senkrecht zur x-Achse) erfolgt, spricht man vom transversalen, direkten Piezoeffekt. Auch hier kommt es durch die Krafteinwirkung zu einer Gitterverformung, wie dies in Abb. 3a, rechts unten, dargestellt ist. Jedoch gibt es hier eine Umkehr der Ladungen, die an den x-Flächen auftreten. Dies ist leicht einzusehen, da jetzt die negativen Sauerstoffatome von der oberen x-Fläche zurücktreten und daher eine positive Ladung bewirken, während ein Zurücktreten der positiven Siliziumatome von der unteren x-Fläche eine negative Ladung verursacht.

Die Betrachtung der schematischen Strukturzelle zeigt auch, daß das piezoelektrische Messverfahren eine Relativmethode ist. Dies trifft natürlich sowohl für den Longitudinal- als auch für den Transversaleffekt zu. Die Verhältnisse sind in Abb. 3b am Beispiel des Longitudinaleffekts erläutert.

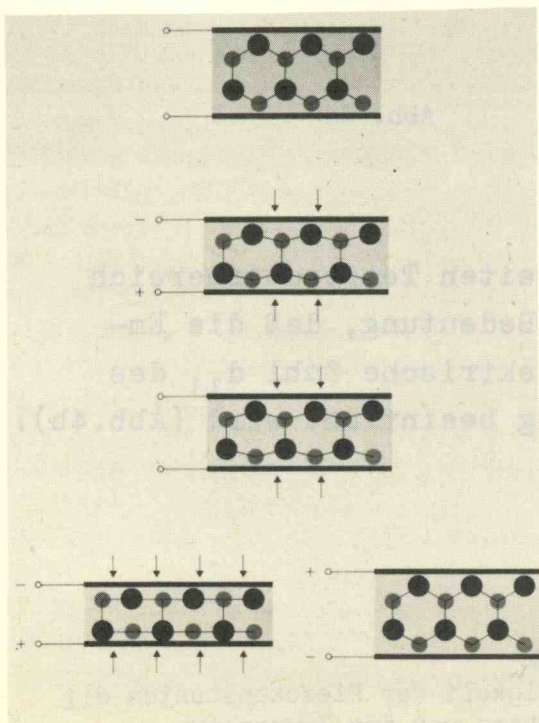


Abb. 3b

Schema der Ladungsentstehung beim Longitudinaleffekt am Quarz. Nach Erdung (Ladungsausgleich) unter Krafteinwirkung (Pos. 3 von oben) wird entgegengesetzte Ladung bei mech. Entlastung erzeugt (Pos. rechts unten)

Erfolgt beispielsweise ein Ausgleich der entstandenen Ladungen (Erdung) noch, während das Piezoelement unter der Krafteinwirkung steht, so kann entweder durch weitere Vergrößerungen der Kraft wieder eine gleichsinnige Ladung erzeugt werden, die nun der Zusatzkraft proportional ist, oder aber entsteht durch Entlastung eine Ladung umgekehrter Polarität.

Wie schon eingangs erwähnt, erfüllt der Quarz als piezoelektrischer Körper für Messgeräte in hohem Masse die Anforderungen, die für exakte Messungen gestellt werden müssen. Dies gilt ganz besonders auch für das Temperaturverhalten. Auch bei relativ hohen Temperaturen bleibt der Isolationswiderstand genügend hoch, wie dies Abb. 4a zeigt.

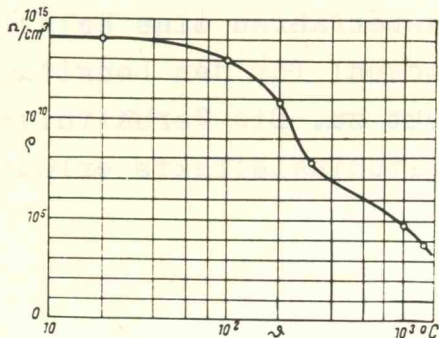


Abb. 4a

Dadurch wird es möglich, in einem weiten Temperaturbereich statisch zu eichen. Ferner ist von Bedeutung, daß die Empfindlichkeit und damit die piezoelektrische Zahl d_{11} des Quarzes von der Temperatur nur wenig beeinflußt wird (Abb.4b).

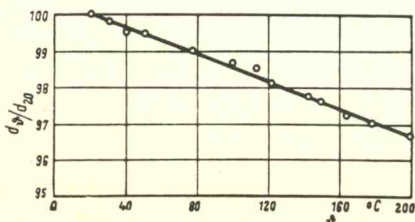


Abb. 4b
Abhängigkeit der Piezokonstanten d_{11} beim Quarz von der Temperatur

Die bisherige Literatur über den Zusammenhang zwischen piezoelektrischer Zahl und Temperatur ist sehr aufschlußreich und läßt etwa folgendes Resümee zu: Die Zahl d_{11} von Quarz hat ein sehr flaches Maximum, etwa bei Raumtemperatur, die Abnahme bis hinunter zu Temperaturen von -260°C beträgt etwa 1,5 %, entsprechend $0,005\% \text{ per } ^{\circ}\text{C}$ (Mittelwert aller Literaturangaben). Im Bereich bis $+180^{\circ}\text{C}$ bleibt die piezoelektrische Zahl innerhalb 1 % nahezu konstant, um dann bei Temperaturen über 200°C abzufallen. Die Abnahme von Raumtemperatur bis $+500^{\circ}\text{C}$ beträgt 17 %, entsprechend etwa $0,035\%/^{\circ}\text{C}$. Im meist interessierenden Bereich zwischen 20°C ... 80°C sind, sehr vorsichtig geschätzt, kaum höhere Empfindlichkeitsabweichungen als $0,005\%/^{\circ}\text{C}$ anzunehmen. Dieser Wert ist im Vergleich zu anderen Wandlerprinzipien mindestens um eine Zehnerpotenz günstiger.

Bei einer Temperatur von $+573^{\circ}\text{C}$ ändert sich der Aufbau des Kristallgitters, und der α -Quarz geht in den β -Quarz über. Da letzterer nicht piezoelektrisch ist, wird oberhalb $+573^{\circ}\text{C}$ die piezoelektrische Zahl d_{11} null. Bei Abkühlung kehren die piezoelektrischen Eigenschaften wieder, es kann aber unter ungünstigen Bedingungen bei der Rückwandlung zur α -Modifikation zu sogenannter elektrischer Zwillingsbildung kommen, wodurch die piezoelektrische Zahl und damit die Empfindlichkeit des Quarzelementes vermindert oder gar null wird. Es wurde früher erwähnt, daß die x-Achsen des Quarzes die polaren Achsen sind, d.h. daß sich durch eine Drehung des Kristalles um 180° um eine zur x-Achse senkrechte Achse des Körpers nicht zur Deckung mit der ursprünglichen Stellung bringen läßt, da jetzt bei mechanischer Belastung die an den x-Flächen entstehenden Ladungen entgegengesetztes Vorzeichen haben. Kristalle, in denen diese beiden Formen nebeneinander gleichzeitig vorkommen, nennt man daher elektrische Zwillinge.

Es ist also möglich, einen Quarzkristall zu erhalten, der als Gesamtkörper inaktiv ist (die meisten europäischen Naturquarze sind, zumindest teilweise, elektrische Zwillinge).

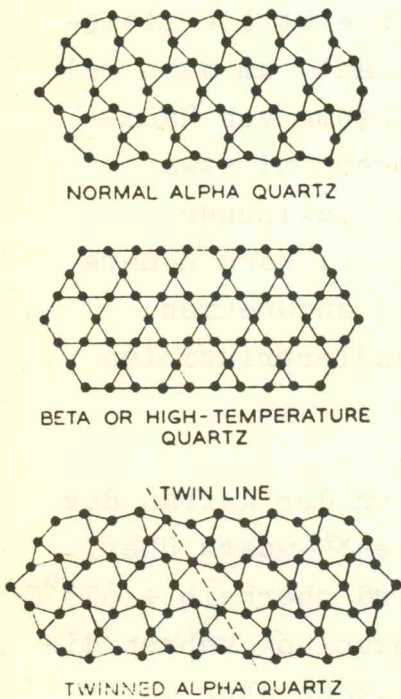


Abb. 5
Gitterstrukturänderung bei der Umwandlung von α -Quarz in β -Quarz bei 573°C .
Bei der Rückwandlung zur α -Konfiguration kann es zu elektr. Zwillingsbildung kommen (siehe Abb. rechts)

Wie ersichtlich, hat der β -Quarz, der sich oberhalb 573°C bildet, eine vollkommene ausgeglichene Gitterstruktur, polare Achsen sind nicht vorhanden, und somit zeigt dieser Körper auch keine piezoelektrische Eigenschaften. Bei der Rückkehr in die α -Modifikation bilden sich wieder die polaren Strukturzellen, und es kann jetzt zur Zwillingsbildung kommen. Abb. 6 veranschaulicht in einem weiteren Beispiel den "Umschnappvorgang", der zur Polaritätsänderung im α -Quarz führt.

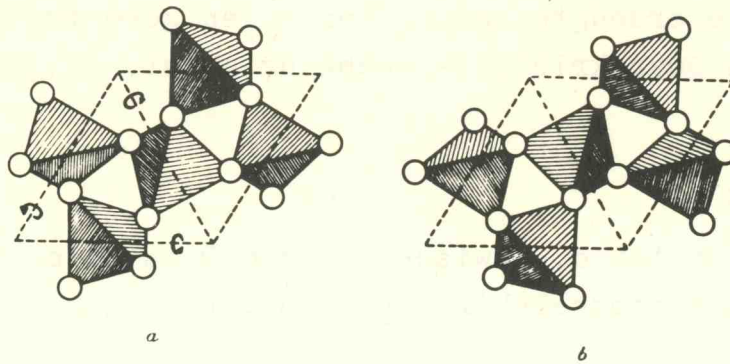


Abb. 6
Schema der elektr. Zwillingsbildung
am Quarz.
Bei Drehung der Elementar-Tetraeder
um die eingezeichneten 3 Achsen (a)
entsteht die elektr. Spiegelbild-
Konfiguration (b)

1.3 Quarz-Piezoelemente

Für die praktische Verwendung von Quarzkristall in Piezo-
elementen können sowohl der Longitudinal- als auch der
Transversaleffekt genutzt werden. Für die Konstruktion bzw.
die Auslegung des Messelementes ergeben sich noch folgende
Überlegungen:

Beim Longitudinaleffekt bringt eine Vergrößerung der x-
Flächen keine Empfindlichkeitssteigerung, da eine gegebene
Gesamtkraft pro Flächeneinheit bzw. Strukturelement - dem
Hookeschen Gesetz entsprechend - proportional weniger wirkt.
Desgleichen hat auch eine Vergrößerung des Abstandes der x-
Flächen voneinander keinen Einfluß auf die Empfindlichkeit,
da sich die im Inneren des Kristalls bildenden Ladungen auf-
heben. Für die Ladungserzeugung auf den Angriffsflächen der

wirkenden Kraft (Elektrodenflächen) sind nur die äußersten Strukturelemente verantwortlich. Demnach ergibt sich, daß beim Longitudinaleffekt die erzeugte Ladung von allen geometrischen Abmessungen des Quarzkristalls unabhängig ist. Es gilt also:

$$Q = d_{11} \cdot P_x.$$

Der Proportionalitätsfaktor d_{11} zwischen Q und P ist die bereits früher erwähnte piezoelektrische Zahl.

Beim Transversaleffekt, erhält man umsomehr Ladung, je größer die Abmessungen des Quarzes in y -Richtung und je kleiner die Abmessungen in x -Richtung sind. Die erzeugte Ladung ist hier abhängig von der einwirkenden Kraft, der piezoelektrischen Zahl d_{11} und ferner dem Formfaktor l_y/l_x oder auch dem gleich großen Verhältnis F_x/F_y , wenn F_x und F_y die zur x - bzw. y -Achse senkrechten Flächen des Kristalls sind. Es gilt:

$$Q = - d_{11} \cdot P_y \cdot \frac{l_y}{l_x} = - d_{11} \cdot P_y \cdot \frac{F_x}{F_y}$$

Durch entsprechende geometrische Formgebung des Kristalls kann also die Ladungsausbeute variiert werden.

In Abb. 7 sind die beiden praktisch verwendeten Kristallanordnungen dargestellt.

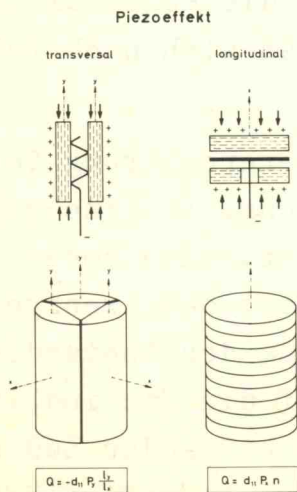


Abb. 7

Quarzkristall-Anordnung für die praktische Nutzung des Piezoeffektes
 links: Transversaleffekt
 rechts: Longitudinaleffekt

Man kann die Empfindlichkeit eines Piezoelementes, welches nach dem Longitudinaleffekt arbeitet, jedoch dadurch erhöhen, daß mehrere (n) Kristallscheiben übereinander angeordnet werden, wobei alle gleichpoligen Flächen miteinander elektrisch leitend verbunden werden (mechanisch in Serie, elektrisch parallel).

Man erhält jetzt:

$$Q = d_{11} \cdot P_x \cdot n.$$

Bei einer genügend großen Anzahl von Quarzscheiben ist sogar eine noch höhere Ladungsausbeute - bei gleichem Totalkristallvolumen - als beim Transversaleffekt möglich. Solche Anordnungen besaßen aber den großen Nachteil, daß durch die vielen Quarzscheiben, die notwendigen Metallelektroden und die daraus entstehende Vielzahl von Berührungsflächen eine unerwünschte Spaltfederung auftritt. Ferner bilden die Elektrodenanschlüsse, die jeweils Elektroden gleicher Ladung parallelschalten, mechanisch kritische Stellen, die die Zuverlässigkeit derart aufgebauter Piezoelemente limitieren.

Seit einigen Jahren gelang es, dieses Mehrscheiben-Longitudinalsystem zu verbessern und die einzelnen Quarzscheiben durch einen Schweißvorgang fest miteinander zu verbinden, wobei die Verbindungszone auch die Aufgabe der Elektrode übernimmt. Nach diesem Verfahren entsteht ein kompakter, fugenloser Körper aus aufeinanderfolgenden Schichten von Quarzkristall und Metall, mit dem alle Vorteile der Longitudinaltechnik erreicht werden können. Der Aufbau dieses Schichtquarzes wird durch metallische Bindung vergoldeter Quarzscheiben bewirkt. Die Vergoldung der Quarze erfolgt durch Metallaufdampfung im Hochvakuum, wobei besondere Vorkehrungen zur festen Verankerung der Aufdampfschicht getroffen sind. Die Verbindung der beschichteten Quarzscheiben untereinander erfolgt durch Press-Schweißung bei erhöhter Temperatur.

Die elektrische Verbindung der einzelnen Quarzflächen bzw. ihrer Goldbeläge erfolgt bei diesem Verfahren ähnlich der Mikromodultechnik in der Elektronik, wie dies in Abb. 8 schematisch dargestellt ist.

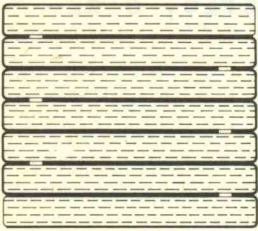
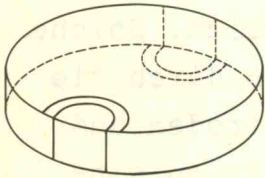


Abb. 8

Schichtquarz in Dünnschicht-
Technik und Modulbauweise



Es besteht die Aufgabe, alle Plus-Flächen und alle Minus-Flächen miteinander elektrisch leitend zu verbinden. Nach diesem Schaltungsprinzip erfolgt die Verbindung jeweils über einen kleinen Lappen auf gegenpoligen Flächen, der von der Hauptelektrodenfläche elektrisch isolierend getrennt ist. Die Isolierzonen werden schon bei der Hochvakuum-Vergoldung der Quarzscheiben durch entsprechende Masken gebildet. Die Scheiben im Innern des Schichtkörpers tragen zwei Verbindungslappen, die Endscheiben nur einen Lappen, wodurch dann der gesamte Schichtkörper einen Zylinder mit einer Plus- und einer Minus-Fläche darstellt.

Die bisherigen Betrachtungen zeigen, daß piezoelektrische Elemente zur Messung von Kräften verwendet werden können. Um Wandler auch zur Messung anderer mechanischer Größen mit Hilfe von Piezoelementen aufzubauen, ist es nötig, daß diese Messgröße zunächst in eine Kraftwirkung umgewandelt wird. Bei Druckwandlern erfolgt diese Umwandlung

durch eine Membran, bei Beschleunigungswandlern durch eine seismische Masse, die unter Beschleunigung eine Kraftwirkung auf das Piezoelement ausübt.

Aus dem besonderen Verhalten der piezoelektrischen Quarzelemente und aus den Aufbaumöglichkeiten der Wandler, die diese Elemente enthalten, lassen sich die typischen Eigenschaften derartiger Messgeräte voraussagen:

1. Dadurch, daß es möglich ist, Wandler mit sehr kleinen Abmessungen herzustellen, sind hohe Eigenfrequenzen erreichbar.
2. Die Wandler zeigen sehr gute Linearität und können auch für große Empfindlichkeit ausgelegt werden.
3. Die Wandler können in einem ungemein großen Temperaturbereich eingesetzt werden; es besteht die Möglichkeit, Temperatureinflüsse zu kompensieren.
4. Ein Nachteil des piezoelektrischen Messverfahrens ist der nötige hohe Isolationswiderstand bis zum Eingang in den Piezoverstärker, was eine statische Messung, besonders bei höheren Temperaturen, sehr erschwert.

Die Messung sehr rasch veränderlicher Größen sowohl periodischer als auch einmalig ablaufender Vorgänge ist daher zweifellos das Hauptanwendungsgebiet der piezoelektrischen Quarzwandler. Im folgenden sollen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, an einigen Beispielen typische piezoelektrische Quarzmessanordnungen gezeigt werden, die heute für die verschiedensten Untersuchungen eingesetzt werden.

2. Quarz-Druckaufnehmer

Abb. 9 zeigt schematisch den Aufbau von Quarz-Druckwandlern.

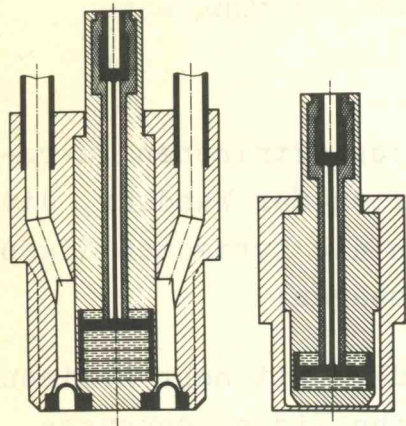


Abb. 9

Schematischer Aufbau von
Quarz-Druckwandlern

links: wassergekühlt
rechts: Miniaturausführung

Der Wandler links ist für Wasserkühlung geeignet, der Wandler rechts in Miniaturausführung verwendet den Longitudinaleffekt in der einfachstmöglichen Form. Auch hier findet man die grundsätzlichen Konstruktionsmerkmale wieder: hermetischer Abschluß des Quarzelementes durch eine vorgespannte, verschweißte Federhülse, hochisolierte Hauptelektroden zwischen gebohrter Quarzscheibe und Schichtquarz, Goldverschweißung sämtlicher Teile des Elementes. Der Ringraum des linken Wandlers zwischen Federhülse und Wandlergehäuse wird vom Kühlwasser durchströmt, wobei die Rückseite der gewölbten Membran in direktem Kontakt mit dem Kühlmittel ist.

Ein Beispiel für einen hochempfindlichen Präzisions-Quarzdruckwandler mit Schichtelement zeigt Abb. 10.

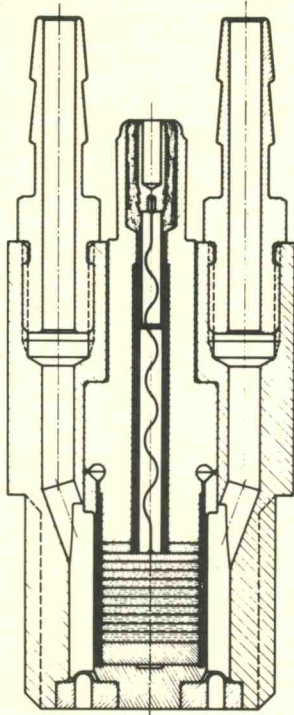


Abb. 10

Wassergekühlter Präzisions-
Druckwandler mit direkt
gekühlter Membran (Schnitt)

Zwischen dem vorderen Boden der Federhülse und dem Quarzschichtkörper ist ein Temperaturkompensationselement aus einem Werkstoff mit hoher Wärmedehnung und hoher spez. Wärme angeordnet. Dieses Element kompensiert die temperaturbedingte Nullpunktdrift des Wandlers. Diese Drift kommt in erster Linie durch thermomechanische Veränderungen in der Federhülse und der Membran zustande. Selbstverständlich ist die Summe der Wärmedehnungen aller Bausteine innerhalb der Federhülse gleich der Wärmedehnung des Materials, aus welchem diese Hülse selbst gefertigt ist. Da aber das Hülsenmaterial ein besserer Wärmeleiter als das Quarzelement ist, kommt es beim Wärmefluß durch den vorderen Boden der Federhülse vorübergehend zu einer Wärmestauung. Diese bedingt, obwohl das gesamte Piezoelement im Hinblick auf Wärmedehnung genau ausgewogen ist, eine vorübergehende, relative Dehnung der Federhülse, gegenüber der Quarzsäule, wodurch ein Druckabfall simuliert

denen die piezoelektrische Methode gerecht werden kann. Bei der Druckmessung an Geschützen hat man sogar die Möglichkeit, das Messelement in die Kartusche selbst zu verlegen, wie dies in den Abbildungen 12 und 13 gezeigt wird.

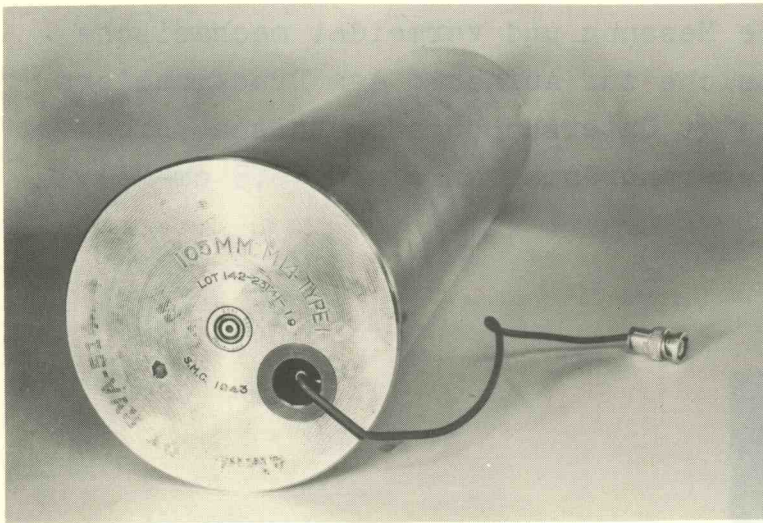


Abb. 12

Geschütz-Kartusche mit eingebautem Hochdruck-Quarzwandler

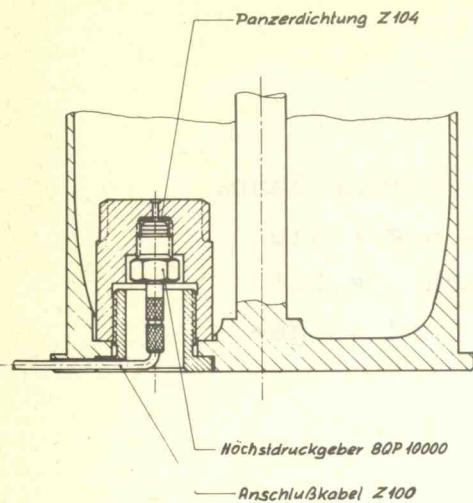


Abb. 13

Geschütz-Kartusche mit Hochdruck-
Quarzwandler (Schnitt)

Diese Methode erleichtert die Messung und vermeidet mechanische Veränderungen am Geschütz, welche zur Aufnahme des Druckwandlers sonst nötig wären. Abb. 14 zeigt Untersuchungsergebnisse, die mit der oben beschriebenen Geberanordnung an einem 10,5 cm-Geschütz durchgeführt wurden.

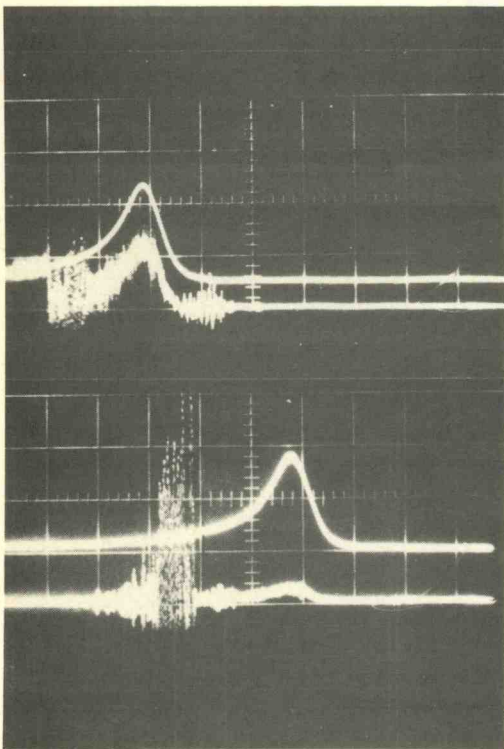


Abb. 14

Untersuchung an einem 10,5 cm
Geschütz (Diagrammverlauf von
rechts nach links!)

jeweils oberes Diagramm:
Druckverlauf in der Kartusche

jeweils unteres Diagramm:
synchrones Beschleunigungsdiagramm
des Rohr-Rücklaufes

Das jeweils obere Diagramm ist der Druckverlauf. Die unteren Kurven sind ein synchrones Beschleunigungsdiagramm zur Darstellung des Rohr-Rücklaufes, welches mittels eines am Geschützrohr befestigten Accelerometers aufgezeichnet wurde. Wie zu fordern ist, zeigen jeweils beide Diagramme für Druck und Beschleunigung eine korrekte zeitliche Zuordnung. Bemerkenswert ist im Beschleunigungsdiagramm das Auftreten eines sehr ausgeprägten Signales, welches zeitlich mit dem Geschosßbodenaustritt übereinstimmt (Körperschall).

Die folgenden Diagramme geben einige weitere typische Kurven wieder, die bei ballistischen Messungen erhalten werden. Abb. 15 zeigt den Druckverlauf bei der Prüfung von Schrotmunition.

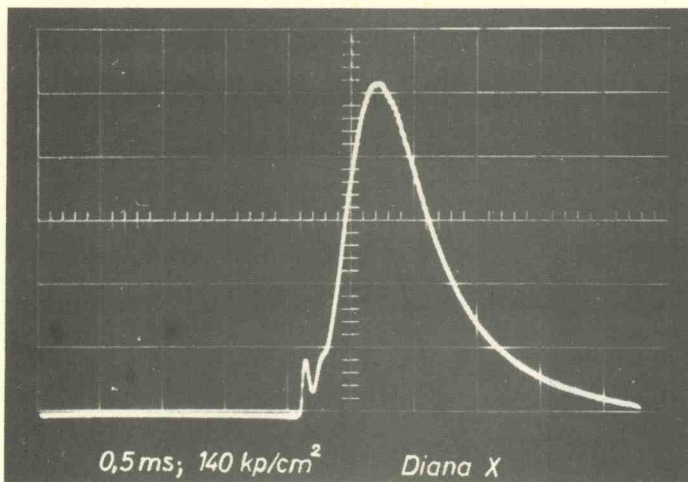
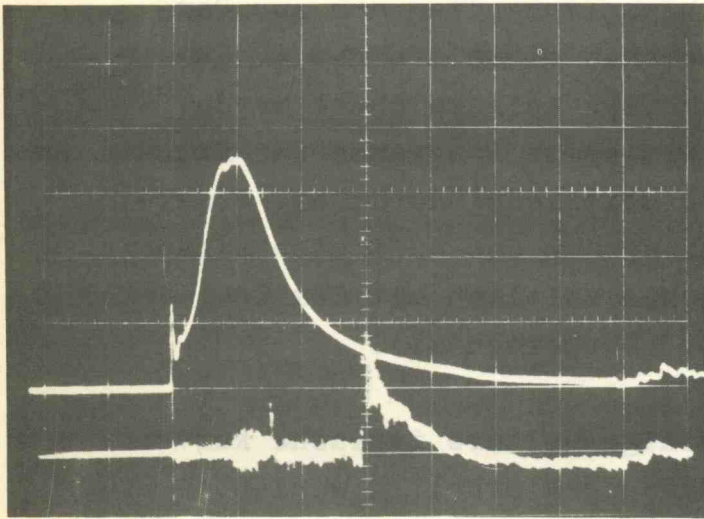


Abb. 15

Der Spitzendruck beträgt hier etwa 730 kp/cm². Der Einfluß der Initialzündung, der bei Schrotmunition besonders deutlich ist, ist auch in der Abbildung gut erkennbar. Diese Zünddiagramme werden oft zur Anpassung geeigneter Zünder an gegebene Pulverlaborierungen herangezogen. Abb. 16 zeigt im oberen Diagramm wiederum den Druckverlauf bei Schrotmunition, das

untere Diagramm wurde mit einem Niederdruckwandler aufgenommen, der nahe an der Laufmündung befestigt war.

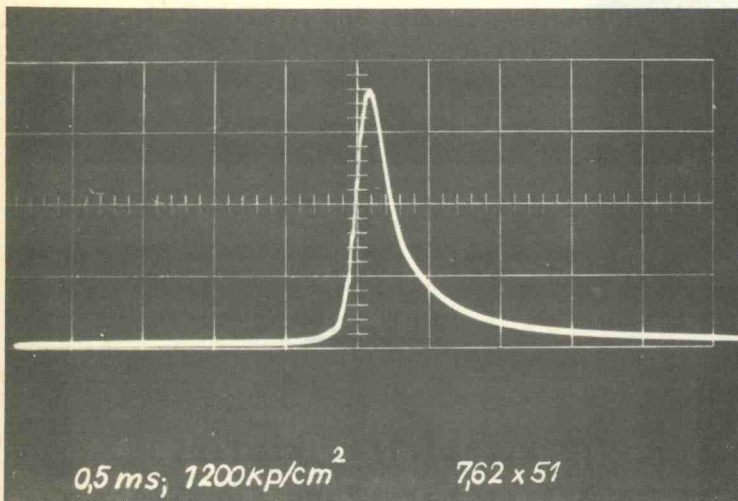


Druckdiagramme von einer Schrotflinte
obere Kurve: Hochdruckdiagramm
untere Kurve: Niederdruckdiagramm vom Mündungsbereich

Abb. 16

Aus diesem Diagramm ist der Luftausschub und der Austritt der Garbe erkennbar.

Abb. 17 zeigt den Druckverlauf in einem ballistischen Gasdruckmesser mit Patronen, Kaliber 7,62 x 51, wobei ein Spitzendruck von etwa 4300 kp/cm² auftritt.



Druckverlauf in einem ballistischen Gasdruckmesser

Abb. 17

Der Geschosseinpressvorgang ist hier deutlich erkennbar.

Abb. 18 zeigt den sehr steilen Druckanstieg, der mit Kleinkalibermunition erhalten wird.

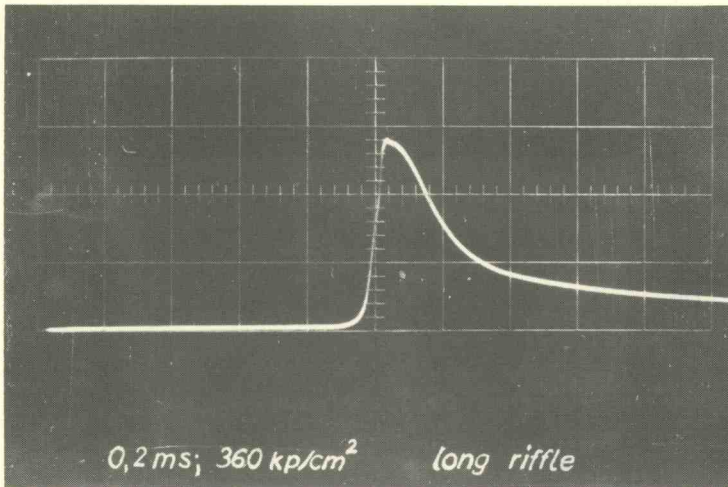


Abb. 18

Druckverlauf bei
Kleinkaliber-Munition

3. Quarz-Lastaufnehmer

Abb.19 zeigt den einfachsten Quarzwandler, der für die Messung von Kräften geeignet ist.

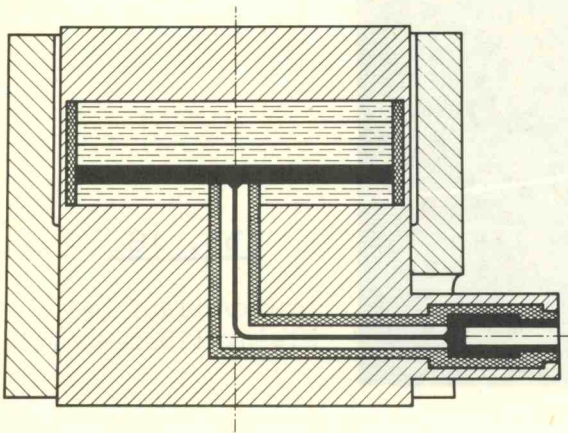


Abb. 19

Schematischer Aufbau einer Quarz-Lastmesszelle

Eine unter Vorspannung geschweißte Federhülse schließt das eigentliche Piezoelement hermetisch ab. Über der scheibenförmigen Hauptelektrode befindet sich ein dreiteiliger Schichtquarz, unter der Elektrode eine gebohrte Quarzscheibe. Durch diesen Aufbau wird die Hauptelektrode auf einfache Weise gegen Masse isoliert. Alle Teile, wie Boden der Federhülse, Quarzscheiben, Elektrode, gebohrte Quarzscheibe, sind nach dem oben beschriebenen Goldschweißverfahren miteinander verbunden.

Abb. 20 zeigt einige typische Beispiele handelsüblicher Quarz-Lastmesszellen.

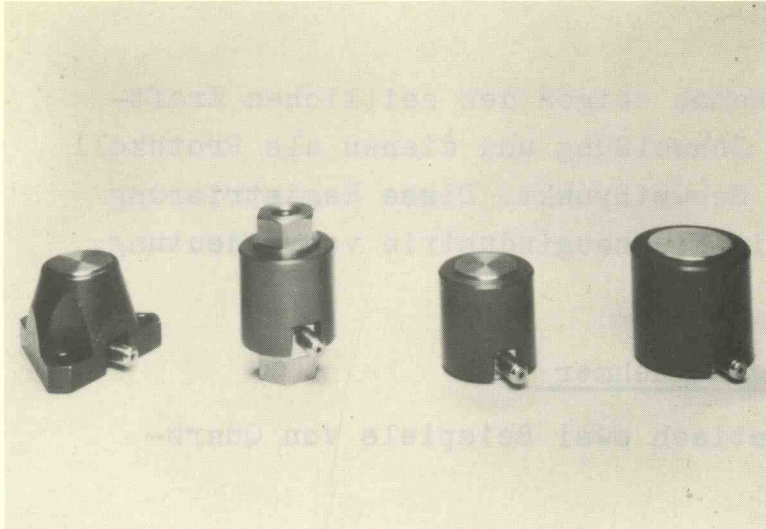


Abb. 20

Handelsübliche Quarz-Lastmesszellen (12 QL 2500, 12 QL 2000, 12 QL 2500z, 16 QL 5000z - Werkfoto AVL)

Abb. 21 zeigt das Diagramm einer interessanten Anwendung für Quarz-Lastmesszellen. Die Zelle wird hier zur Kraftmessung an den Elektroden einer Punktschweißmaschine verwendet.

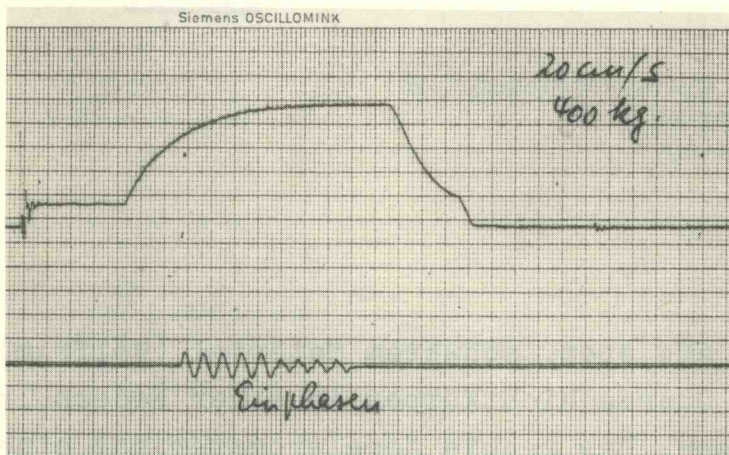


Abb. 21

Kraftmessung mit Quarz-Lastmesszellen
an den Elektroden einer Punktschweißmaschine
oben: Kraftverlauf
unten: zeitliche Zuordnung des Schweißstromes

Die erhaltenen Diagramme zeigen den zeitlichen Kraftverlauf während der Schweißung und dienen als Protokoll für jeden einzelnen Schweißpunkt. Diese Registrierung ist vor allem für die Flugzeugindustrie von Bedeutung.

4. Quarz-Beschleunigungsaufnehmer

Abb. 22 zeigt schematisch zwei Beispiele von Quarz-Accelerometern.

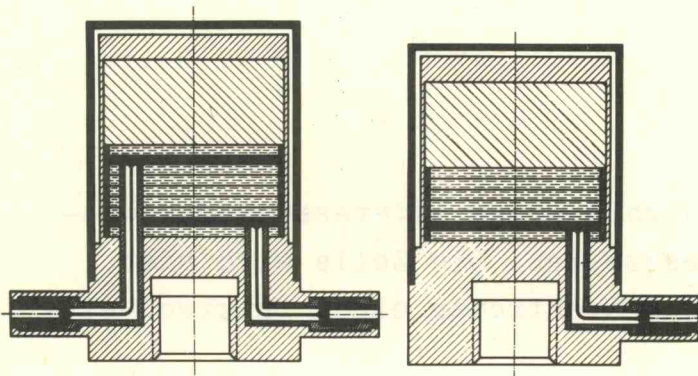


Abb. 22

Schematischer Aufbau von Quarz-Accelerometern
links: zweipolige Ausführung
rechts: einpolige Ausführung

Eine seismische Masse aus spez. schwerem Material (Wolfram) ist gemeinsam mit dem Quarzschichtkörper in einer Federhülle hermetisch abgeschlossen. Das rechte Accelerometer hat eine Elektrode zur Ableitung der Minus-Ladungen; die Plus-Ladungen gehen an Masse. Das linke Accelerometer hat zwei Elektroden zur isolierten Abnahme beider Ladungen. Unter Beschleunigung übt die vor den Quarzen liegende seismische Masse eine Kraftwirkung in Richtung der Achse des Wandlers aus.

Abb. 23 zeigt einige handelsübliche Quarz-Accelerometer.

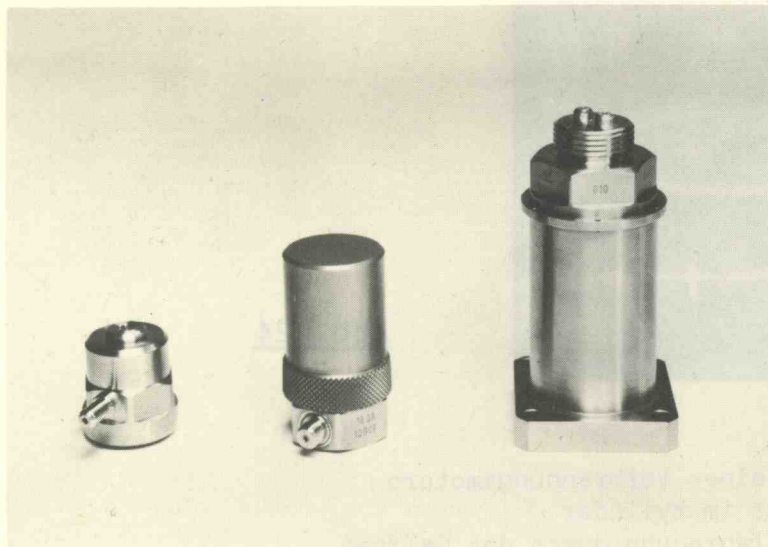


Abb. 23

Die Messung von Körperschall an Verbrennungskraftmaschinen hat neuerdings an Bedeutung gewonnen, weil hier ein direkter Zusammenhang mit den Problemen der Geräuschverminderung besteht. Körperschall, der in Motoren hauptsächlich durch Schlag- und Stoßvorgänge erzeugt wird, kann nämlich überall an resonanzfähige oder abstrahlungsfähige Flächen gelangen.

Es werden hier piezoelektrische Accelerometer verwendet, die z.B. direkt am Zylinderkopf des Motors montiert werden können. Abb.24 zeigt eine oszillographische Aufzeichnung, die am Prüfstand an einem luftgekühlten Diesel-Motor erhalten wurde.

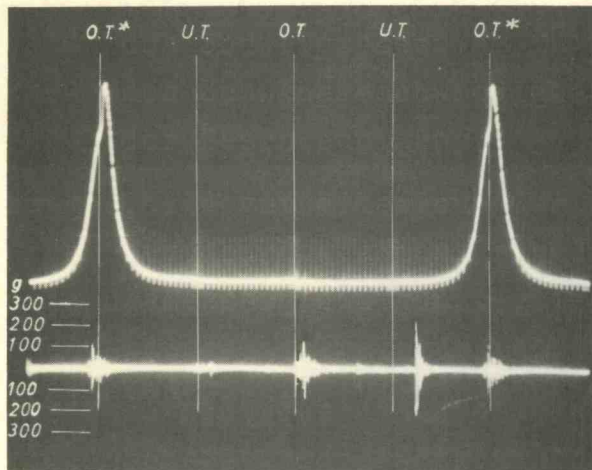


Abb. 24

Körperschall am Zylinderkopf eines Verbrennungsmotors
oberes Diagramm: Druckverlauf im Zylinder
unteres Diagramm: Körperschallanregung durch das Öffnen
und Schließen der Ventile

Das obere Diagramm ist der Druckverlauf im Zylinder über mehr als 720° Kurbelwellenumdrehung, das untere, synchron laufende Beschleunigungsdiagramm veranschaulicht die Körperschallanregung durch das Öffnen und Schließen der Ventile.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel bildet die Maschinenüberwachung durch Vibrationsmessung. Vibration kann im Prinzip nach drei Methoden gemessen werden, nämlich durch die Bestimmung

- des Schwingweges,
- der Schwinggeschwindigkeit,
- der Beschleunigung.

Erfahrungen, die vor allem aus dem Flugzeugbau bzw. der Triebwerküberwachung stammen, haben gezeigt, daß die Beschleunigungsmessung die günstigste Methode ist. Hier werden neuerdings piezoelektrische Quarz-Accelerometer sehr erfolgreich verwendet. Die Überwachungsanlage arbeitet entweder mit einer Analoganzeige oder Registrierung der

Vibrationsbeschleunigung direkt in "g"-Werten.

Die Abbildungen 25 und 26 zeigen Quarz-Accelerometer in zweipoliger Ausführung, montiert am Flugtriebwerk einer vierstrahligen Verkehrsmaschine zur Betriebsüberwachung.

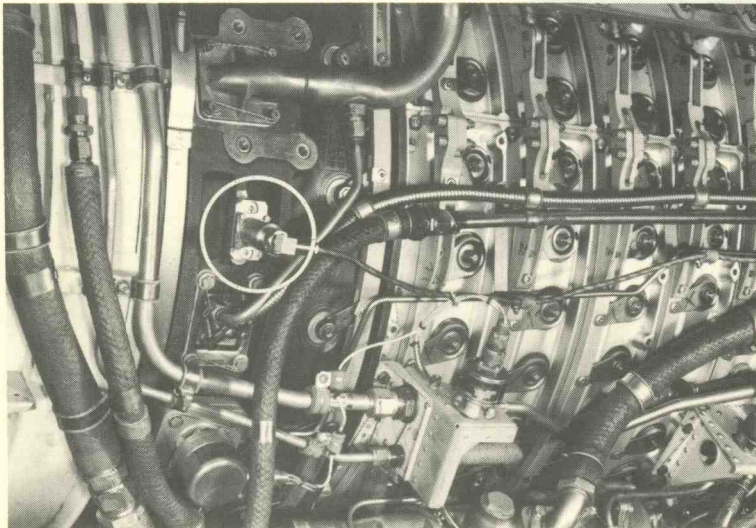


Abb. 25

Quarz-Accelerometer, montiert im Bereich des vorderen Hauptlagers eines Flugtriebwerkes zur Vibrations-Ueberwachung

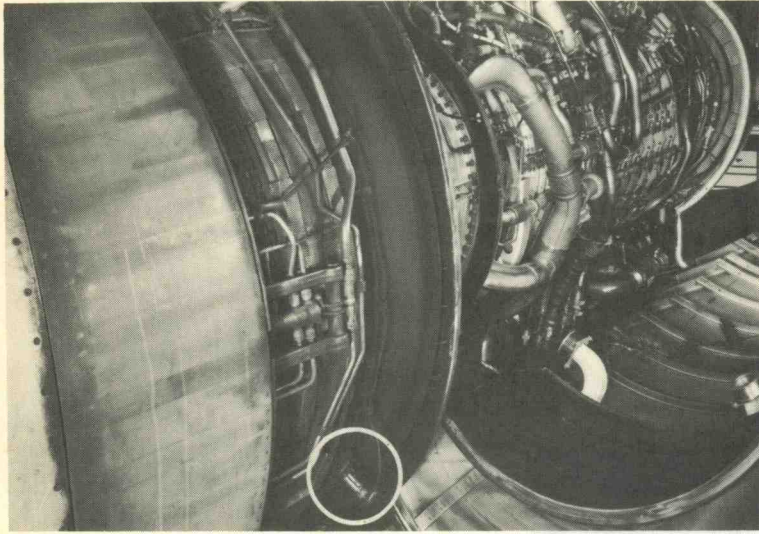


Abb. 26

Quarz-Accelerometer, montiert im Bereich des Mantelstrom-
gebläses eines Flugtriebwerkes zur
Vibrations-Ueberwachung

Anwendungstechnik Licht- und
Flüssigkeitsstrahloszillographen

Mai 1969

Ms 7/1012

Messwertaufnehmer für Schwingbeschleunigung
-Geschwindigkeit und -Weg

Häufig steht man vor der Aufgabe, das dynamische Verhalten von Maschinen oder Teilen derselben zu untersuchen. Solche Messungen können sowohl im laufenden Betrieb oder bei der Entwicklung von Interesse sein. So z.B. ist die rechnerisch bestimmte Dimensionierung zu überprüfen, ob keine unerwünschten oder sogar unzulässigen Schwingungserscheinungen auftreten, die die Lebensdauer verkürzen oder vielleicht Schäden am Objekt herbeiführen könnten.

Grundlage bei der Betrachtung über Schwingungsmessungen ist die Überlegung, ob Weg, Geschwindigkeit oder die Beschleunigung bestimmt werden soll. Auftretende Verformungen, Materialspannungen o.a. erfaßt man durch Wegmessungen, Massenkräfte dagegen durch Beschleunigungsmessung. Untersuchungen der mechanischen Impedanz, die über den Charakter der Schwingung Aufschluß gibt, erfolgen über die Geschwindigkeitsmessung.

Die Schwingungsvorgänge können sowohl periodische oder nicht-periodische Bewegungen, als auch Bewegungen um eine Gleichgewichtslage oder Auslenkung aus einer bestimmten Bezugslage abhängig von der Zeit sein. Es lassen sich nach Wahl von Messwertaufnehmern und Montage sogenannte absolute oder relative Messungen durchführen. Absolut ist die Messung dann, wenn die Bewegung des Messobjektes in bezug auf einen Raumpunkt gemessen wird, oder relativ, wenn die Messung der Bewegung in bezug auf einen wählbaren Testpunkt erfolgt.

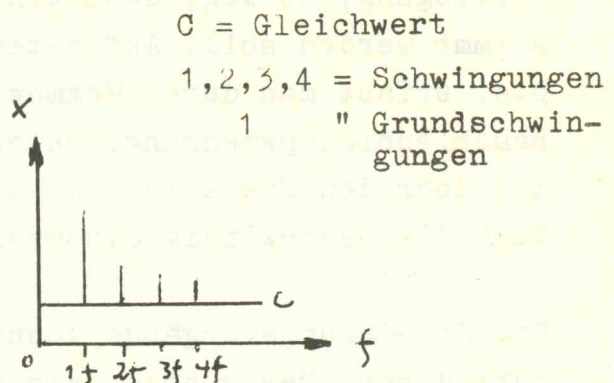
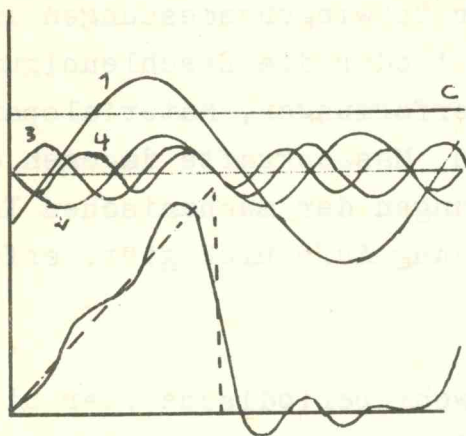
Die Bewegung eines Massenpunktes kann durch die Verlagerung X aus der Nullage als Funktion der Zeit $X = f(t)$ dargestellt werden, wobei für den einfachen Schwingungsvorgang die Gleichung gilt

$$X_1 = X \cdot \sin(\omega t)$$

Dabei ist X_1 der Augenblickswert und X der maximale Wert, eben die Amplitude oder der Scheitelwert. Das arithmetische Mittel über die Augenblickswerte einer Periode heißt Gleichwert oder linearer Mittelwert.

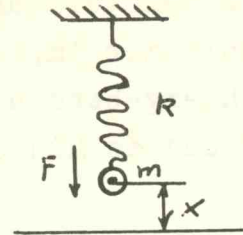
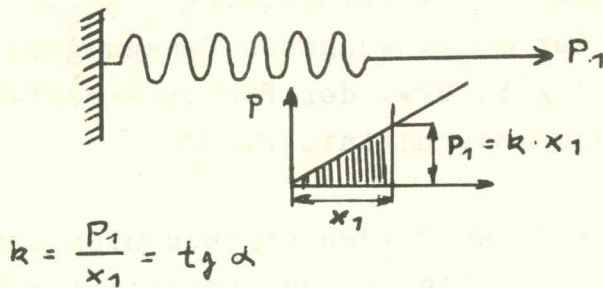
Der Großteil in der Natur vorkommenden Schwingungen sind nicht sinusförmiger Art. Nach Fourier sind diese Schwingungen aber als Überlagerung eines Gleichwertes aus einer Summe von Sinus-schwingungen darstellbar. Es handelt sich dabei um Grundfrequenz und ihre höheren Harmonischen aus geradzahligen Vielfachen, die verschiedene Phasen und Amplituden haben können.

Das Hauptproblem der Schwingungsmessung ist, nun mit entsprechenden "Schwingenden Systemen" diese Schwingungen zu erfassen.



Einfachen, linear schwingenden Systemen kann man zwei unabhängige Energiespeicher zuordnen, die ihre Energie gegenseitig austauschen können. Bei mechanischen Systemen unterscheidet man zwischen einem potentiellen und einem kinetischen Speicher. Kennwerte sind im ersten Falle die Masse m im anderen Falle die Federkonstante k .

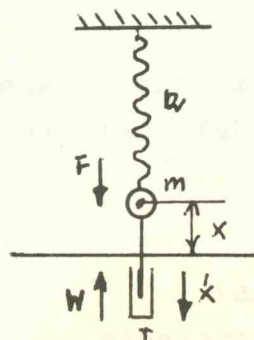
F = Federkraft
 x = Auslenkung
 k = Federkonstante



Außer den Speichern sind im System aber noch Elemente, die Energie verbrauchen. (Entgegenwirkende Kräfte). Das Schwingungssystem ist also gedämpft. Bei geringen Dämpfungskräften, die gegenüber den anderen im System wirkenden Kräften vernachlässigbar sind, spricht man von einem ungedämpften System. Ein schwingendes System unbelastet von äusseren Kräften führt freie Schwingungen aus. Unter dem Einfluß äusserer Kräfte kommt es zu erzwungenen Schwingungen. Vorausgesetzt wird bei diesen Masse-Feder-Systemen für kleine Wege zwischen Federverlängerung X und verlängernder Kraft P ein linearer Zusammenhang:

$$P = k \cdot X.$$

Die Dämpfungskraft wird geschwindigkeitsproportional angenommen.

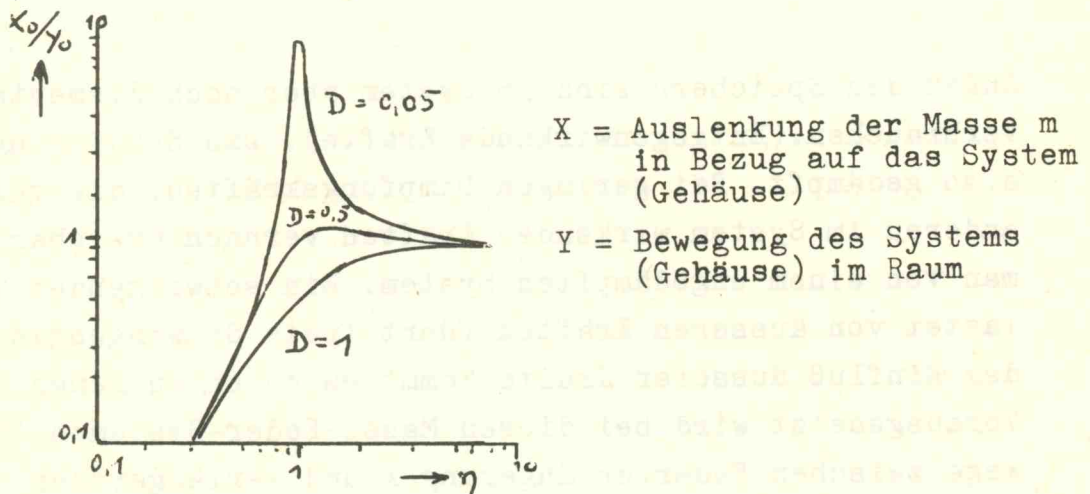


$$W = -r \cdot \dot{x}$$

$$r = -\frac{W}{\dot{x}}$$

Zur Berechnung des Zeitverlaufes der Bewegung stellt man die Differentialgleichung des Systems auf und betrachtet die funktionelle Darstellung zwischen der Vergrößerung $V = \frac{X_0}{Y_0}$ dem Verhältnis der Amplituden der aufgezwungenen Bewegung Y_0 und dem sich ergebenden Ausschlag X_0 bzw. der Phasenverschiebung zwischen Y_0 und X_0 und dem Frequenzverhältnis $\eta = \frac{\omega}{\omega_0}$

Aus der Betrachtung des nachstehenden Bildes ergeben sich nun Zusammenhänge wie diese Systeme für die Messung verwendet werden können.



Für $\eta \gg 1$ oder $\omega \gg \omega_0$ d.h. oberhalb der Resonanzfrequenz ist die Vergrößerung $V \approx 1$. In diesem Bereich ist das System wegeempfindlich. Unterhalb der Resonanzfrequenz ω_0 ist bei nicht zu großer Dämpfung D die Vergrößerung V quadratisch von η abhängig. Das System ist dann beschleunigungsempfindlich. Bei großer Dämpfung D ist der Zusammenhang zwischen V und η linear, das System ist näherungsweise geschwindigkeitsempfindlich.

Die Dimensionierung der Systeme zur Erfassung der Bewegungsgrößen Y , \dot{Y} und \ddot{Y} in einem möglichst großen Frequenzbereich hängt vor allem von den 3 Größen

- Masse
- Dämpfung
- Federkonstante

ab.

Betrachtet man die Differentialgleichung

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = -\frac{d^2y}{dt^2} = -b \quad (1)$$

nach Einsetzen der Begriffe

$$\text{Eigenfrequenz des ungedämpften Systems } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1a)$$

$$\text{Frequenzverhältnis } \eta = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (2)$$

$$\text{Dämpfungsmaß } D = \frac{r}{2m\omega_0} \quad (3)$$

so ergibt sich

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2D\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = -\frac{d^2y}{dt^2} = -b \quad (4)$$

Wählt man die Masse m groß, die Dämpfungskonstante r und die Federkonstante k klein, so werden ω_0 und D klein.

Die Ausdrücke $2D\omega_0 \frac{dx}{dt}$ und $\omega_0^2 x$ sind deshalb zu vernachlässigen. Es ergibt sich näherungsweise

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2y}{dt^2} \quad (4a)$$

$x = -y$. Also wegeempfindlich, wobei die Größen \dot{y} , \ddot{y} (Geschwindigkeit und Beschleunigung) durch Differentiation nach der Zeit errechnet werden können.

Wählt man die Masse m und die Dämpfungskonstante r klein und die Federkonstante k groß (steife Feder), kann das erste und zweite Glied in Gleichung (4) unberücksichtigt bleiben. Dann wird

$$x = -\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{1}{\omega_0^2} b \quad (5)$$

Dieses System ist beschleunigungsempfindlich.

Wählt man dagegen die Maße m und die Federkonstante k sehr klein, die Dämpfungskonstante r sehr groß ($\omega_0 = \text{klein}$ und D sehr groß), so können die Ausdrücke $\frac{d^2x}{dt^2}$ und $\omega_0^2 x$ vernachlässigt werden.

Die Gleichung lautet dann

$$2 D \omega_0 \frac{dx}{dt} = - \frac{dy}{dt^2} = - b \quad (6)$$

oder nach Integration

$$x = - \frac{1}{2 D \omega_0} \frac{dy}{dt} = - \frac{1}{2 D \omega_0} v \quad (6a)$$

Dieses System ist geschwindigkeitsempfindlich.

Beschleunigungsaufnehmer

Das Newton'sche Gesetz

$$\boxed{\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}}$$

ist die Grundlage der Beschleunigungsmessung.

Grundsätzlich wird auf einen Kraftaufnehmer eine seismische Masse aufgebracht. Beschleunigungs-Messwertaufnehmer werden heute allgemein nach dem elektrodynamischen, magnetischen oder piezoelektrischen Prinzip hergestellt.

Wie bereits weiter oben erwähnt, können Messwertaufnehmer für Beschleunigungsmessung näherungsweise als schwach gedämpfte Schwingungssysteme mit geschwindigkeitproportionaler Dämpfungskraft betrachtet werden. In diesem Falle wirkt an der Masse noch die Dämpfungskraft.

Da diese Kraft der Geschwindigkeit X entgegengesetzt gerichtet ist, gilt

$$W = - r \cdot \dot{x} \quad (7)$$

$$r = - \frac{W}{\dot{x}} \quad (8)$$

Darin bedeuten:

W = Dämpfungskraft (Reibung)

r = Dämpfungskonstante oder mechanische Impedanz

\dot{x} = Geschwindigkeit

Die Dämpfung D läßt sich aus der Ableitung der Bewegungsgleichung durch eine dimensionslose Zahl ausdrücken. Es gilt

$$D = \frac{r}{2 \cdot m \cdot \omega_0} = \frac{r \cdot \omega_0}{2 k} = \frac{k}{2 \sqrt{k \cdot m}} \quad 9$$

Die Eigenfrequenz des schwach gedämpften Systems ω_0 ist etwas kleiner.

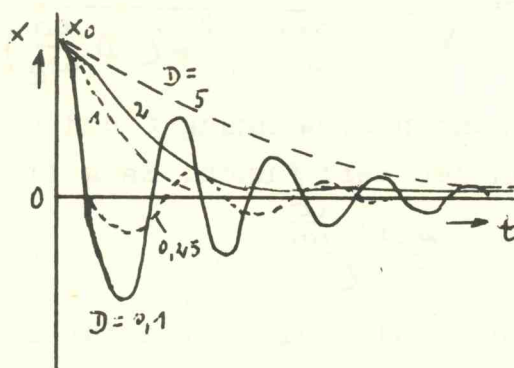
$$\omega_0 = \omega_e \sqrt{1-D^2} \quad 10$$

wobei $\omega_e = 2\pi \cdot f_e$ Eigenfrequenz des ungedämpften Systems

Im vorliegenden Falle handelt es sich um ein System mit schwacher Dämpfung. D.h.

$$D < 1 \quad 11$$

Den Dämpfungszusammenhang zwischen ungedämpfter und gedämpfter Schwingung kann man auch durch den natürlichen Logarithmus dieses Verhältnisses ausdrücken. Man spricht dann vom logarithmischen Dekrement.



$$\mathcal{D} = D \cdot \omega_0 \cdot T_d = \frac{2\pi \cdot D}{\sqrt{1-D^2}} = \frac{r \cdot \pi}{m \cdot \omega_d} \quad 12$$

- wobei
- δ = logarithmisches Dekrement
 - ω_0 = Eigenfrequenz der ungedämpften Schwingung
 - T_d = Periodendauer der gedämpften Schwingung
 - ω = Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung
 - r = Dämpfungskonstante
 - m = Masse
 - D = Dämpfungskoeffizient

Je größer die Dämpfung ist, desto langsamer wird die Schwingung. Das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Amplituden bleibt immer gleich. Der Wert für das logarithmische Dekrement gibt nur an, um wieviel Prozent die Amplitude je Periode abnimmt.

Erregt man das System fremd, wie das bei einem Messwertaufnehmer am Objekt der Fall ist, sind die Phase und die Amplitude seines Ausgangssignales Funktionen der Frequenz und ändern sich vor allem, wenn man in die Nähe seiner Eigenfrequenz oder darüber kommt.

Für Frequenzen $f \ll f_e$ besteht zwischen den Amplituden X und Y folgender Zusammenhang

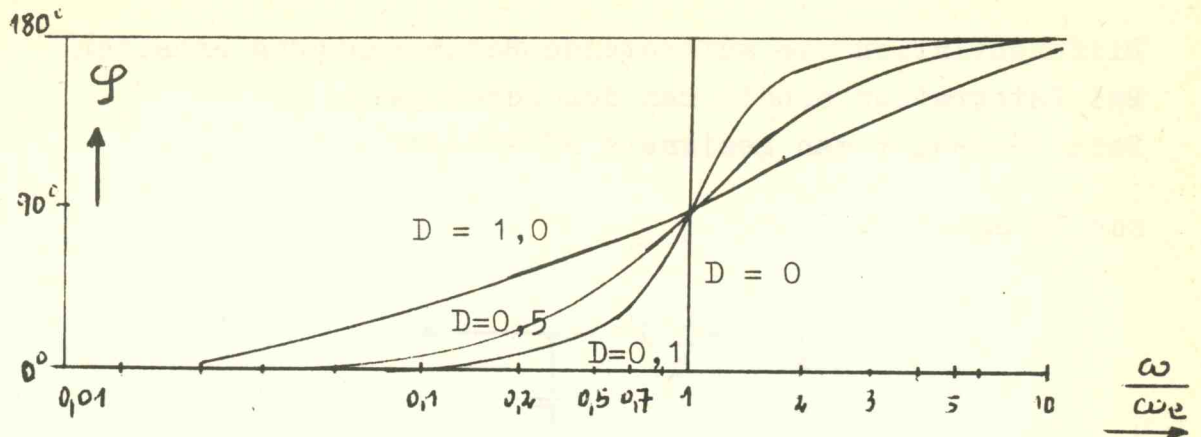
$$\frac{X_e}{Y_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(2D \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad 13$$

Die Phase der zu messenden Schwingung Y und der gemessenen Schwingung X eilt um den Wert φ nach. Es gilt

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2D \cdot \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad 14$$

Aus Gleichung (10) und (13) ergibt sich für Dämpfungen $D < 0,3$ bzw. $\frac{X_{\max}}{Y} > 1,7$

$$D \approx \frac{1}{2} \frac{Y}{X_{\max}} \quad 15$$



Starke Überhöhungen und Phasenänderungen ergeben sich nach dem vorher beschriebenen nur in der Nähe der Eigenresonanz ω_0 . Durch Einsatz von Filtern mit Grenzfrequenzen zwischen 5 kHz und 100 kHz führt man Korrekturen des gesamten Meßkanals vom Messwertaufnehmer bis zum Verstärker herbei. Dadurch vermeidet man Übersteuerungen des Verstärkers bei steilen Spitzen. Der resultierende Frequenzgang läßt sich aus der Frequenzgangkurve des Beschleunigungsaufnehmers und der Filterkurve durch einfache Addition berechnen.

Theoretisch kann man wie weiter oben gezeigt, einen Messwertaufnehmer auch für Frequenzen oberhalb der Eigenfrequenz verwenden. Dabei kann man annehmen, daß die seismische Masse ruht und das Ausgangssignal proportional der Auslenkung durch das Objekt ist. Infolge der Steifigkeit eignen sich in der Praxis die Systeme für derartige Anwendungen nicht.

Grundsätzlich ist das Meßsystem in bezug auf die Konstanten m , k und r bzw. ω_0 und D so zu dimensionieren, daß die zu messenden Größen y , \dot{y} , \ddot{y} in einem weiten Frequenzbereich direkt angezeigt werden. Durch Differentiation und Integration können dann die entsprechenden abgeleiteten Größen gewonnen werden.

AbgeleiteteGrößen durch elektrische Integration oder Differentiation:

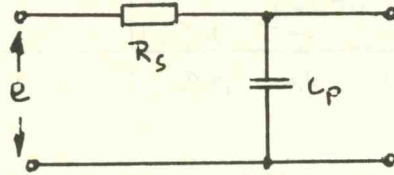
Verwendet man z.B. elektrodynamische Systeme, die Ausgangsspannungen erzeugen, die der relativen Geschwindigkeit der zu messenden Schwingung proportional sind, so kann man durch

Differentiation die auftretende Beschleunigung erhalten.

Bei Integration erhält man den Schwingweg.

Dazu verwendet man geeignete RC-Glieder :

zur Integration



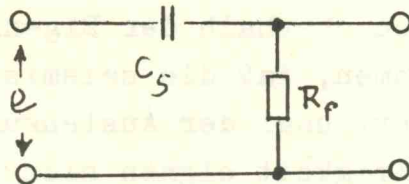
$$R_s \geq 5 \frac{1}{2\pi f \cdot C_p} [\Omega]$$

R_s = Serienwiderstand

C_p = Parallelkapazität

$$\text{Grenzfrequenz } f_g = \frac{1}{2\pi R_s C_p} [\text{Hz}] \quad 16$$

zur Differentiation



R_p = Parallelwiderstand

C_s = Serienkapazität

$$R_p \leq \frac{1}{10\pi f \cdot C_s} \quad 17$$

$$\text{Grenzfrequenz } f_g = \frac{1}{2\pi f R_p C_s} [\text{Hz}] \quad 18$$

Durch den Integrations- und Differentiationsvorgang wird die Aufnehmerspannung erniedrigt, so daß man bei sehr kleinen Schwingungsausschlägen geschwindigkeitsproportional arbeiten muß.

Enthält die Schwingung hohe Frequenzen, die das Bild z.B. auf einem Oszillographen undeutlich machen, so wird man sinnvoll integrieren, weil hierdurch die höheren Harmonischen abgeschwächt werden. Dies ist z.B. beim Auswuchten zulässig, da hier nur der Weg als Meßgröße neben dem Phasenwinkel für den Vorgang bestimmend ist.

Elektronische Frequenzberichtigung von Aufnehmern

Bei der Betrachtung der Bewegungsgleichungen wurde gezeigt, daß in dem Frequenzgebiet, in dem die Trägheitskraft vorherrscht, der Schwingungsaufnehmer mit gedämpftem seismischen System eine dem Schwingweg proportionale Anzeige liefert. Dieses Frequenzgebiet liegt oberhalb der Eigenfrequenz des Systems; es handelt sich dann um ein tief abgestimmtes System. Sollen mit solchen Aufnehmern Wegmessungen z.B. bis herunter zu 0,5 Hz vorgenommen werden, muß man Systeme mit extrem niedrigen Eigenfrequenzen haben. Dies verlangt wiederum äußerst große Massen und kleine Federkonstanten, so daß z.B. bei 0,5 Hz eine statische Durchsenkung von 1 m entsteht. Analog liegen die Verhältnisse in Frequenzbereichen, in denen die Federkraft bestimmend ist. Hier erhält man eine der Schwingungsbeschleunigung proportionale Anzeige. Bei solchen hochabgestimmten Aufnehmern mißt man also im Bereich unterhalb der Eigenfrequenz. Für große Meßbereiche kommt man zu sehr hohen Eigenfrequenzen, Die Relativausschläge werden aber dann sehr klein. Die statische Durchsenkung bei 500 Hz ist nur $0,1/\mu$.

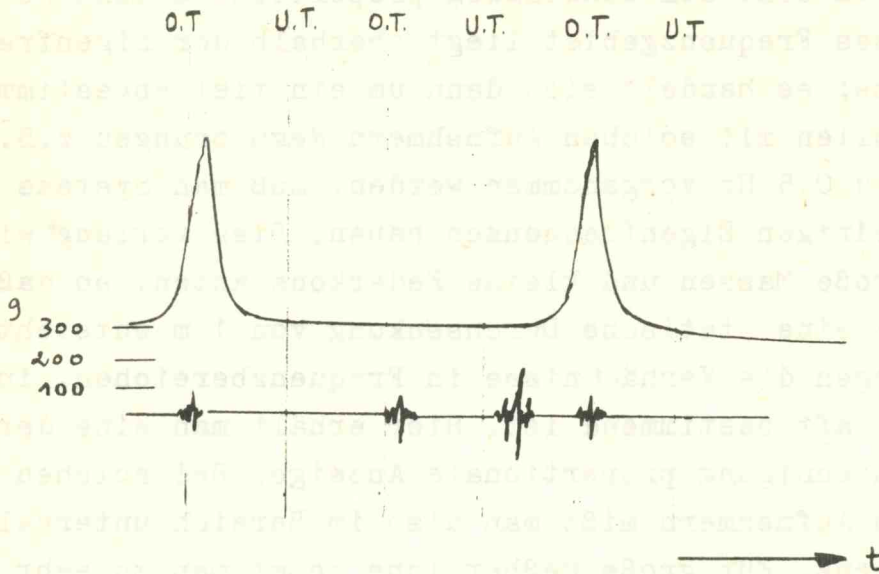
Die Frequenzlinearisierung von Phase und Amplitude auf elektronischem Wege ermöglicht nun die Verwendung von handelsüblichen Aufnehmern mit nicht extrem tief oder hochliegenden Eigenfrequenzen. Bei Wegmessungen z.B. kann man mit verhältnismäßig kleinen Massen bis zu 0,5 Hz herab linear messen. Eine aufwendige nachträgliche Berichtigung der Meßwerte ist nicht mehr nötig.

Anwendungsbeispiel:

Die Messung von Körperschall an Verbrennungskraftmaschinen hat neuerdings an Bedeutung gewonnen, weil hier ein direkter Zusammenhang mit den Problemen der Geräuschverminderung besteht. Körperschall, der in Motoren hauptsächlich durch Schlag- und Stoßvorgänge erzeugt wird, kann nämlich überall an resonanzfähige oder abstrahlungsfähige Flächen gelangen.

Zur Messung dieser Schwingungen werden piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer verwendet, die unmittelbar am Zylinderkopf des Motors montiert werden können.

Nachstehendes Oszillogramm wurde am Prüfstand an einem luftgekühlten Dieselmotor vorgenommen.



Das obere Diagramm ist dabei der Druckverlauf im Zylinder über mehr als 720° Kurbelwellenumdrehung. Das untere Beschleunigungs-Diagramm synchron laufend veranschaulicht die Körperschallanregung durch das Öffnen und Schließen der Ventile. Die beiden Vorgänge wurden mit einem Lichtstrahl-Oszillographen OSCILLOPORT E aufgezeichnet.

Folgende Messanordnung wurde verwendet:

Druckmessung

Pos. 1) 1 Quarz-Druckgeber
12 QP 250 CK, Anschlußgewinde M4x1,25
mit direkter Flüssigkeitskühlung
Messbereich 0 - 250 kp/cm² statisch
 0 - 150 kp/cm² dynamisch
Empfindlichkeit: 70 pC je kp/cm²
Best.-Nr. M 07638-A514
Preis: DM 1.145,--
=====

Pos. 2) 1 Ladungsverstärker im Tischgehäuse
MOS FET-Eingang, volltransistoriert
mit statischer Eichbarkeit und Calibrator
Eingangswiderstand 10^{14} Ohm
Empfindlichkeit 100 mV/pC
Ausgangsspannung ± 5 V
Ausgangsstrom ± 80 mA begrenzt
Linearitätsabweichung $< 0,1$ %
Best.Nr. M 07638-A 3
Preis: DM 2.620,--
=====

Beschleunigungsmessung:

Pos. 3) 1 Quarzbeschleunigungsaufnehmer
16 QA 1000 M
Anschlußgewinde M 20-1,5 SW 22

Messbereich 0,01 bis 1000g
Empfindlichkeit 9 pC/g
Best.-Nr. M 07638-A605
Preis: DM 1.385,--
=====

Pos. 4) 1 Ladungsverstärker
entspricht Pos. 2)

Anschlußkabel:

Pos. 5) 2 Anschlußkabel Z 101M
5m Länge
zum Quarz-Messwertaufnehmer
Best.-Nr.
Preis: DM a.A.
=====

Aufzeichnungsgerät:

Pos. 6) 1 Lichtstrahl-Oszillograph
OSCILLOPORT E
mit Tragebügel,
lichtdichter Vorratskassette
Anschluß 220 V/ 50 Hz
Best.-Nr. M07423-A1
Preis:DM 6.600,--
=====

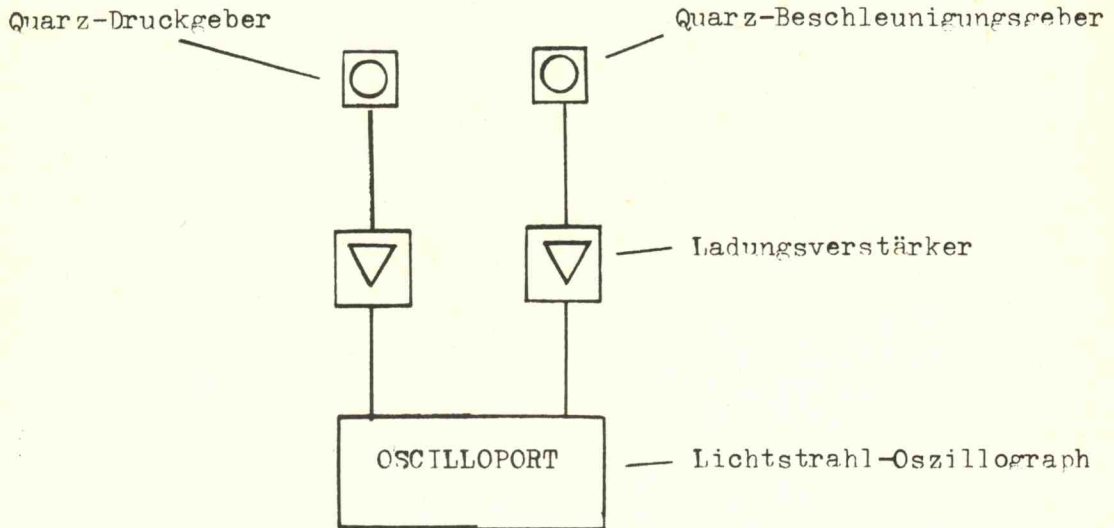
Pos. 7) 1 Galvanometereinschub
mit Magnetblock für 6 kl.Spulenschwinger
Best.-Nr. C70486-B4-A2
Preis: DM 670,--
=====

Pos. 8) 2 Kupplungsdosen zweipolig
zum Anschliessen der kleinen
Spulenschwinger
Best.-Nr. S70479-A1-A39
Preis je Stück: DM 6,50
=====

Pos. 9) 1 Zeitordinatengeber
100/10 Hz 1/0,1 Hz
Best.-Nr. C72301-A5-B88
Preis: DM 1.190,--
=====

Pos. 10) 1 Quecksilberdampf-Höchstdrucklampe
HBO 50W/2
Best.-Nr. S70479-A1-A37
Preis: DM 127,50
=====

Anschluß der Aufnehmer an den OSCILLOPORT E



Die Preise verstehen sich ohne Mehrwertsteuer und entsprechen der bisherigen Kostenlage.

Im Auftragsfalle kommen die am Tage der Lieferung geltenden Preise zur Verrechnung.

Wir sind gerne bereit, Sie bei der Lösung der vorliegenden Messaufgabe zu unterstützen.

Selbstverständlich lösen wir auch andere Mess-Probleme.

Hierzu bitten wir um Ihre Anfrage.

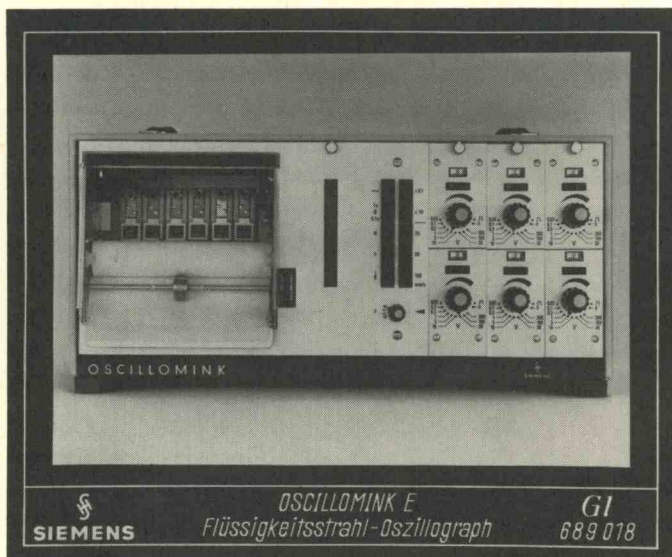


Anwendungstechnik Licht-
und Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen
Oktober 1969 Ms 7/1019

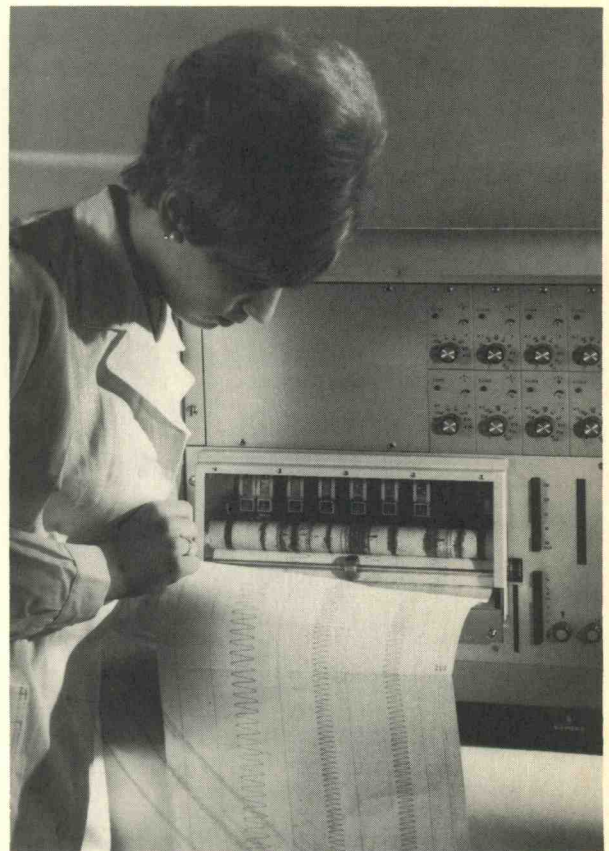
Bereich
Meß-
und Prozeßtechnik

Meßtechnik

Einsatz des Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen
OSCILLOMINK in Instituten für Hydraulik



OSCILLOMINK E
für max. 6 Messkanäle



OSCILLOMINK B
für max. 12 Messkanäle

Aufgabe:

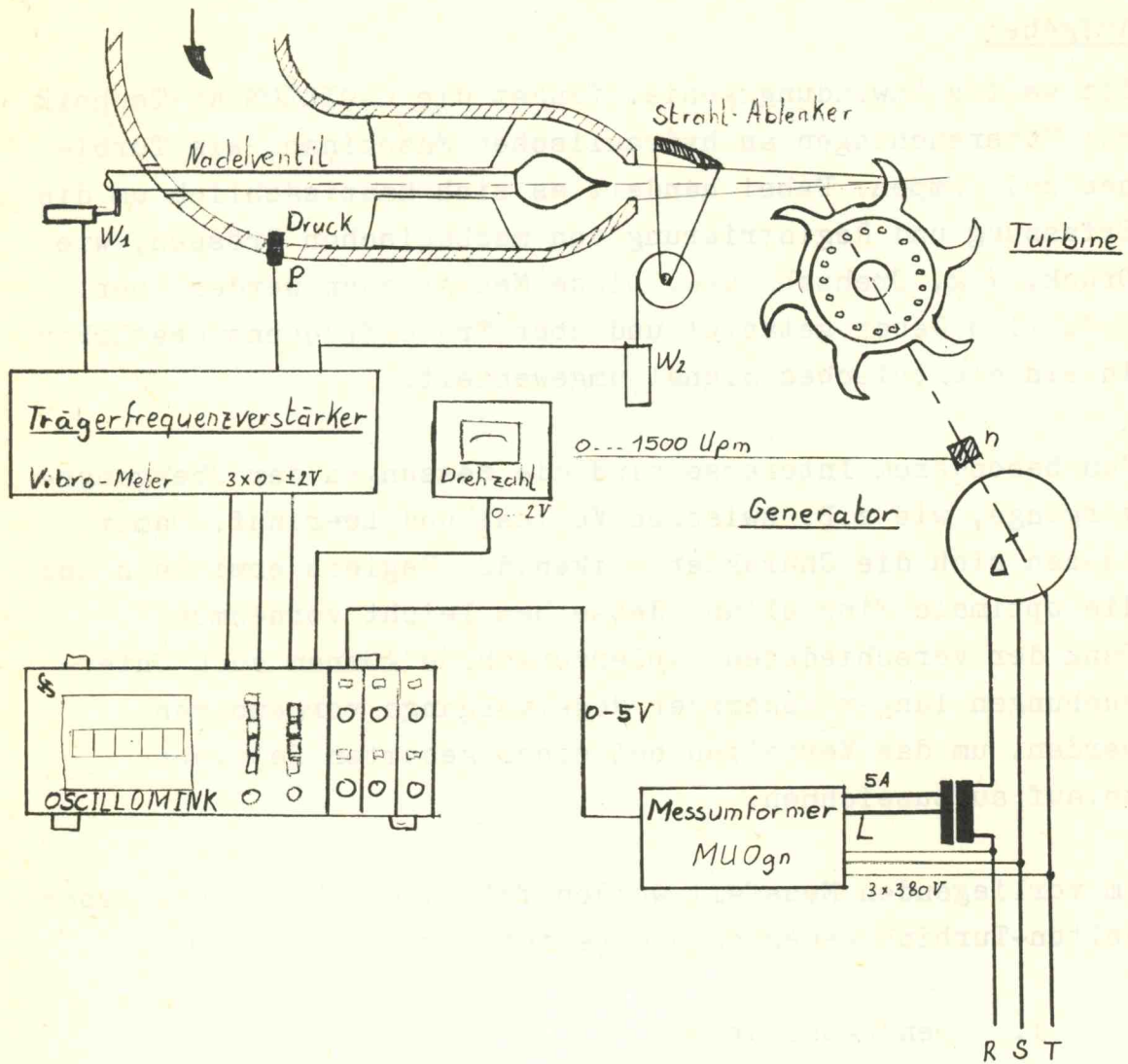
Ein weites Anwendungsgebiet findet die OSCILLOMINK-Technik bei Untersuchungen an hydraulischen Maschinen, wie Turbinen und Pumpen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um die Erfassung und Registrierung von mechanischen Grössen, wie Druck, Weg, Drehzahl usw. Diese Messgrössen werden über induktive Geber getastet und über Trägerfrequenzverstärker in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Von besonderem Interesse sind die Messungen der Übergangsvorgänge, wie z.B. zwischen Vollast und Leerlauf. Damit lassen sich die Charakteristiken des Reglers ermitteln und die optimale Einstellung desselben leicht vornehmen. Dank der verschiedenen Papiervorschübe können auch Untersuchungen länger dauernder Regelvorgänge vorgenommen werden, um das Verhalten bei einem gesamten Betriebsablauf aufzuzeichnen.

Im vorliegenden Messfall wurden folgende Grössen bei einer Pelton-Turbine gemessen und registriert:

1. Den Wasserdruck
2. Nadelventil (Düsenhub)
3. Den Weg des Strahl-Ablenkers
4. Die Drehzahl
5. Die abgegebene Leistung
6. Die zeitliche Folge.

Nachstehendes Blockschaltbild zeigt die gesamte Messanordnung.



- W1 = Weg Düsenhub
- W2 = Weg Strahlableker
- n = Drehzahl
- P = Druck Wasser

Die Pelton-Turbine ist mit einem Generator gekuppelt, dessen abgegebene Leistung über einen Messumformer in ein proportionales Gleichspannungssignal umgewandelt wird. Dieses kann auf den OSCILLOMINK geschaltet und somit die Leistung registriert werden. Der Wasserdruck, die Nadelventilöffnung sowie diejenige des Strahl-Ablenkers werden mittels induktivem Geber abgetastet. Die Drehzahl wird über einen kontaktlosen magnetischen Impulsgeber erfaßt.

Das Oszillogramm (letzte Seite) zeigt eine Abschaltung von Vollast auf Leerlauf. Daraus ist ersichtlich, daß ca. 1 sec nach Abschaltung die Drehzahl um 170 Upm gestiegen ist und den Strahl-Ablenker halb geschlossen hat. Erst nach 6 sec ist das Nadelventil ganz geschlossen.

Mit Hilfe von Beschleunigungsaufnehmern können zusätzlich Schwingungen registriert und Vibrationsversuche am Schau-felrad vorgenommen werden.

Folgende Geräte wurden bei vorstehend beschriebenen Messun-gen eingesetzt:

1. Wasserdruck

Pos. 1) Druckaufnehmer PK/5
Nennbereich 5 kp/cm
Linearität $\pm 1 \%$
Gewinde M 18 x 1,5
Preis: DM 995,--
=====

Pos. 2) Trägerfrequenzverstärker
mit Anzeigeinstrument
Ausgang ± 5 V, ± 50 mA über
 $R_L = 100$ Ohm
Best.-Nr. M 07637-A1
Preis: DM 3.200,--
=====

2. Düsenhub

Pos. 3) Induktiver Wegaufnehmer
Messbereich \pm 50mm/32mV/mm
Typ TD 8-100/A
Preis: DM 610,--
=====

Pos. 4) Trägerfrequenzverstärker
wie Pos. 2)

3. Strahlablenker

Pos. 5) Induktiver Wegaufnehmer
Messbereich \pm 15 mm, 40 mV/mm
Typ TD 8-30/A
Preis: DM 565,--
=====

Pos. 6) Trägerfrequenzverstärker
wie Pos. 2)

4. Drehzahl

Pos. 7) Kontaktloser Impulsgeber
JP/1412
Preis: DM 152,--
=====

Pos. 8) Drehzahlmessgerät PR 9907
mit hoher Genauigkeit
Preis: DM 970,--
=====

5. Abgegebene Leistung

Pos. 9) Messumformer
MU 0 gn

Leistung

Strahl - Ablenker

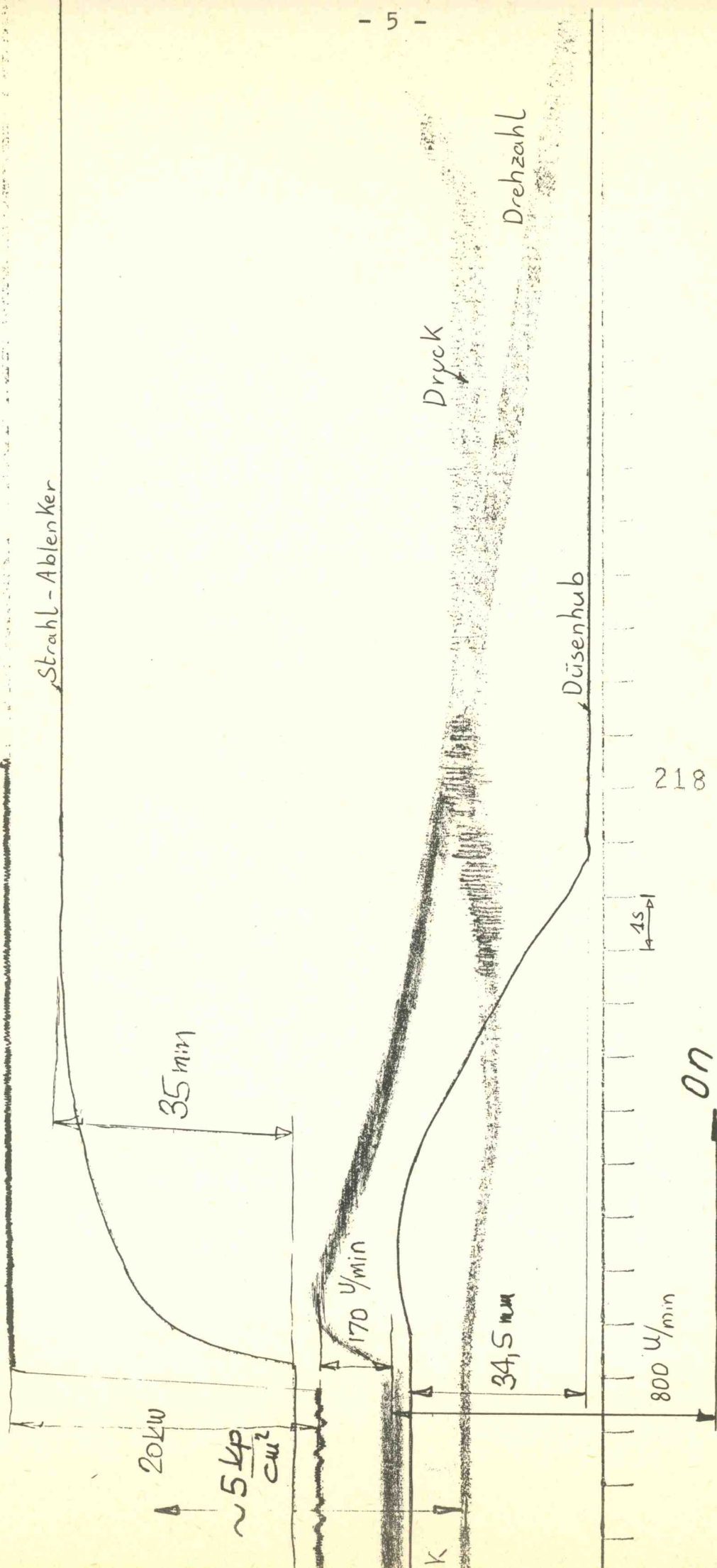
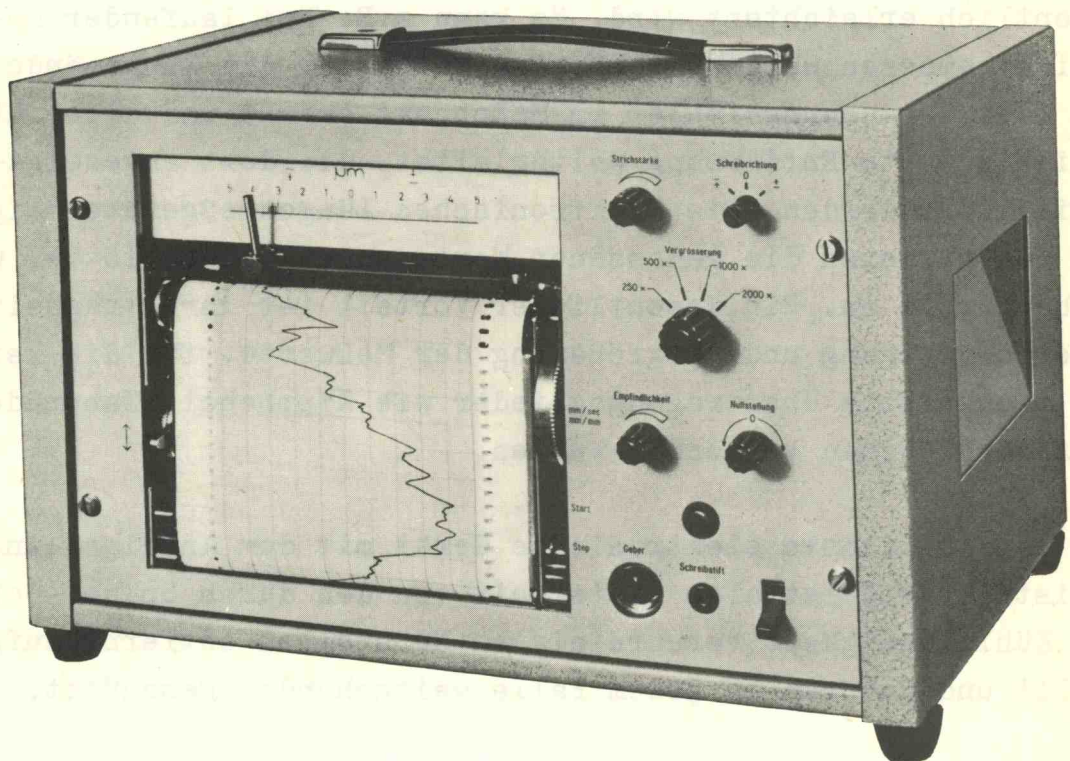


Bild 2

Anwendungstechnik Licht- und
Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen
Oktober 1969 Ms 7/1013

Testen von Verzahnmaschinen mit dem
elektronischen Längenmessgerät in
Verbindung mit schnellen Kompensationsschreibern



Besondere Merkmale der schnellen
Kompensationsschreiber

Einstellzeit 0,08 sec.
Umkehrspanne des Schreibstiftes
ist $< 0,01/\mu\text{m}$
Robuster Aufbau und leicht
transportabel
Kontaktmarkengeber

Kugelschreiber oder Tinten-
feder auf lichtpausfähigem
Papier
oder Metallstift auf Wachs-
schichtpapier
10 Papierablaufgeschwindig-
keiten

Aufgabe

Bereits seit langer Zeit besteht die Forderung nach Meßgeräten und speziell nach Verzahnungs-Meßgeräten mit hoher Übersetzung, kleiner Meßkraft, reproduzierbarer Meßgenauigkeit und geringster Umkehrspanne.

Die Elektronischen Meßgeräte erfüllen diese Forderungen in geradezu idealer Weise. Während die bisher allgemein bekannten mechanischen Meßgeräte und speziell die optischen Längenmeßgeräte in ihrem Aufbau stets geschlossene Geräte sind, besteht bei den Elektronischen Längenmeßgeräten die Möglichkeit der Fernanzeige, wodurch die Lösung einer Reihe von Meßaufgaben wesentlich erleichtert wird. So kann z.B. bei laufender Maschine gemessen werden, wobei der Meßtaster die Längenänderungen oder Verzahnungsfehler am Meßobjekt erfaßt und diese über beliebig weite Entfernung weiterleitet, die dort angezeigt und registriert werden. Die Elektronischen Längenmeßgeräte zeigen und registrieren die gemessenen Werte unverfälscht in der wirklichen Größe an. Ein wesentlicher Vorteil ist ihre trägheitslose Übertragung und Vergrößerung der Meßwerte, für die keinerlei mechanische Übertragungsglieder wie Kipphebel, Zahnräder oder dergleichen verwendet werden.

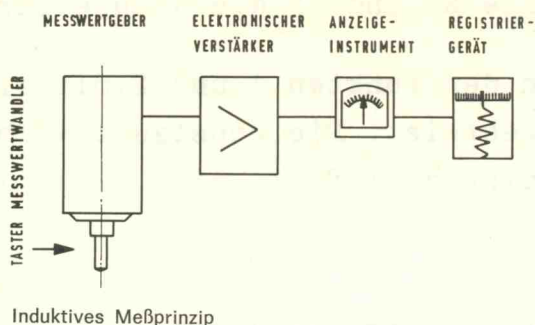
Das empfindlichste elektronische Gerät mit dem Anzeige- und Registrierteil ist also stets weit von den durch Späne, Schmier- und Kühlflüssigkeit verunreinigten Meßstellen entfernt aufgestellt und dadurch in jedem Falle weitgehendst geschützt.

Das Grundprinzip der induktiv arbeitenden Elektronischen Längenmeßgeräte zum Messen mechanischer Größen ist unten schematisch dargestellt.

Es besteht aus:

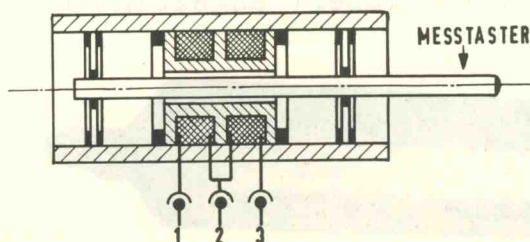
dem Meßwertgeber mit dem feinfühligem Taster und dem Meßwertwandler,
dem Elektronischen Verstärker zum trägheitslosen Vergrößern der Meßwerte,

dem Anzeige- und Registriergerät zur Sichtbarmachung der Meßwerte.



Der Meßwertwandler, der im Meßwertgeber untergebracht ist, besteht aus einem luftdicht verschlossenen Spulenkörper mit zwei Induktivitäten, welche die eine Hälfte der elektrischen Wechselstrom-Meßbrücke bilden.

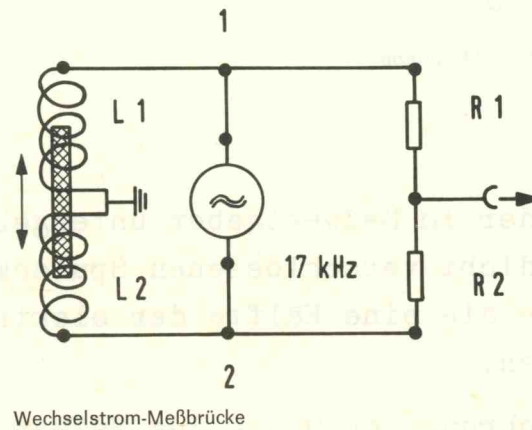
In der zentralen Bohrung der Spule des Meßwertwandlers wird ein Stiftkern berührungsgelos, d.h. ohne mechanische Reibung bewegt, wodurch die elektrische Meßbrücke verstimmt wird. Der elektrische Wechselstromwiderstand der einen Spule nimmt zu, während der elektrische Wechselstromwiderstand der anderen Spule gleichzeitig abnimmt. Durch diese Widerstandsänderung wird das Gleichgewicht der Brücke gestört und es entsteht dadurch eine Wechselspannung in der Brücke. Diese Wechselspannung, die der mechanischen Verschiebung des Stiftkernes proportional ist, wird dem elektronischen Verstärker zugeführt, dort verstärkt, gleichgerichtet und zum Anzeige- und Registriergerät geleitet.



Meßwertwandler

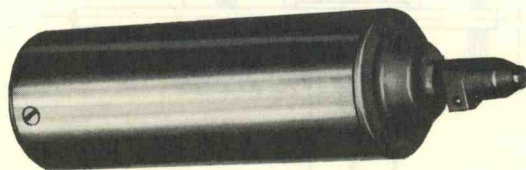
Die beiden im Meßwertwandler angeordneten Spulen L_1 und L_2 bilden mit den im Eingang des elektronischen Verstärkers vorhandenen Widerstände R_1 und R_2 die Wechselstrom-Meßbrücke.

Die Meßbrücke wird an den Punkten 1 und 2 mit einer Wechselspannung von 17 kHz gespeist. Die konstante Wechselspannung wird von einem Generator geliefert.

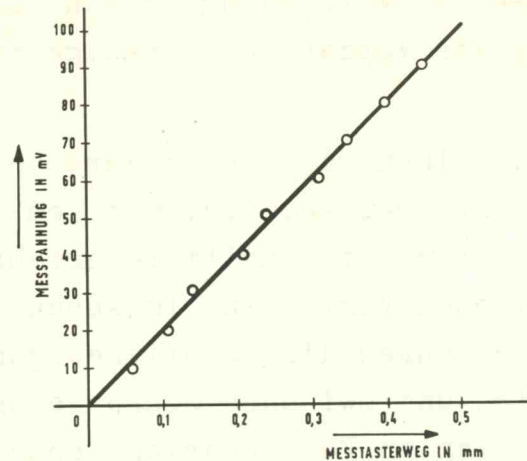


Der Elektronische Meßwertgeber besteht aus einem stabilen geschliffenen Gehäuse, in dem der Taster und Meßwertwandler untergebracht ist. Alle Teile sind mit höchster feinmechanischer Präzision hergestellt.

Der Stiftkern ist in Membranfedern gelagert und bewegt sich berührungslos, in der zentrischen Bohrung des Spulenkörpers. Die vom Taster erfaßten Längenänderungen werden vom Meßwertwandler in Induktivitätsänderungen umgewandelt und über das ca. 5 m lange Meßwertgeberkabel zum elektronischen Verstärker im Elektronischen Grundgerät gesendet, dort trägheitslos verstärkt und 250-, 1000- und 2000fach oder 500-, 1000-, 5000- und 10 000fach vergrößert angezeigt und registriert.



Elektronischer Meßwertgeber



Zusammenhang zwischen Meßtasterweg und Meßspannung

Der elektronische Meßwertgeber ist robust aufgebaut, so daß er den Anforderungen des rauhen Werkstattbetriebes jederzeit gerecht wird. Er besitzt einen Freihub von ca. 4 mm um eine Beschädigung durch fehlerhaftes Einstellen zu vermeiden.

Der Taster ist so stabil in Federn gelagert, daß seitliche Kräfte, die z.B. beim Prüfen von rotierenden Wellen auftreten, ohne Beeinträchtigung der Meßergebnisse bleiben und keinesfall den Taster oder das Meßsystem beschädigen können.

Trotz seiner robusten Bauweise ist der Elektronische Meßwertgeber auch gleich gut im Prüffeld oder Labor einsetzbar. Die reproduzierbare Meßgenauigkeit und die Linearität auf verhältnismäßig große Wege sind sehr gut, wie aus obenstehender Abbildung ersichtlich ist.

Testen von Verzahnmaschinen

Das Testen von Verzahnmaschinen, wie Wälzfräsmaschinen, Kammhobelstahl-Wälzstoßmaschinen und Wälzschleifmaschinen, sowie die Abnahmeprüfung von neu gelieferten Verzahnmaschinen, erfolgen zweckmässigerweise direkt am verzahnten Werkstück, im

aufgespannten Zustand, auf den Verzahnmaschinen. Hierzu werden Proberäder mit periodischen Zähnezahlen des Maschinenteilrades bearbeitet und mit diesen, in Verbindung mit den Elektronischen Verzahnungs-Messgeräten, die Verzahnungsgenauigkeit der Maschine nachgewiesen.

Das Testen von Verzahnmaschinen kann selbstverständlich auch ohne Proberäder durchgeführt werden, z.B. mit dem Sigma-Verfahren, Wälzschlupf-Verfahren, Strichgitter-Verfahren, Magnet-Verfahren und dem Seismischen-Verfahren. Im wesentlichen werden bei allen vorgenannten Verfahren die Relativbewegungen zwischen Werkzeug- Werkstückantrieb und zwischen Schnecke und Schneckenrad gemessen. Die registrierten Fehlerkurven geben auch Aufschluß über fehlerhafte Antriebselemente, die innerhalb der Antriebskette liegen, so daß diese leicht aufgefunden und beseitigt werden können. Die vorgenannten Meßverfahren eignen sich gut für Hersteller von Verzahnmaschinen, damit Fehlerquellen schnell aufgedeckt werden können. Die Abnahmeprüfung jedoch muß und wird mit Proberädern durchgeführt, wozu die Elektronischen Verzahnungs-Messgeräte eingesetzt werden.

Die Hersteller von Getrieberädern können jedoch in den wenigsten Fällen die Seismischen-, Magnet-, Strichgitter-, Wälzschlupf- und Sigma-Messgeräte auslasten. Da die Getriebehersteller, ohnehin ihre verzahnten Produkte prüfen sollten, d.h. die Elektronischen Verzahnungs-Messgeräte früher oder später beschaffen und einsetzen müssen, ist es aus Wirtschaftlichkeitsgründen vorteilhafter und zweckmäßiger, diese Elektronischen Verzahnungs-Messgeräte auch zum Überprüfen oder Testen von Verzahnmaschinen, in Verbindung mit Proberädern, zu verwenden. Werden die verzahnten Produkte laufend geprüft, dann hat der Getriebehersteller selbst ständig ein klares Bild über die (noch) vorhandene Genauigkeit seiner Verzahnmaschinen und es erübrigen sich spezielle Genauigkeitsüberprüfungen. Werden diese trotzdem in bestimmten Zeitintervallen gewünscht, dann kann das Testen der Verzahnmaschinen mittels Proberädern, die mit periodischen Zähnezahlen versehen werden, durchgeführt werden.

Folgende Fehler oder Größen sind von Interesse:

1. Kreisteilungsfehler (Teilungssprung F_u , Summenteilungsfehler F_t = Winkelfehler \triangle Einflankenwälzfehler, Gesamtteilungsfehler = max. Winkelfehler).
2. Verzahnungsrundlauffehler F_r (= Exzentrizität der Verzahnung) und die Gleichmässigkeit der Zahndicken und der Zahnluken in der Nähe des Wälzkreises.
3. Zweiflanken Wälzfehler an gerade und schrägverzahnten Rädern.
4. Prüfung der Wellen auf den Zahnflanken (Zahnflanken-Welligkeitsfehler).
5. Flankenform- und Flankenrichtungsfehler entlang den geraden Erzeugungs- bzw. Kontaktlinien.

Die Proberäder, zum Testen der Verzahnmaschinen, müssen mit einer periodischen Zähnezahl des Maschinenteilrades versehen werden, damit die Maschinenqualität bezüglich des zyklischen Fehlers nachgewiesen werden kann. Hierzu wird empfohlen Proberäder mit der 3-, 5- oder 7-fachen Zähnezahl des Maschinenteilrades zu verzahnen. Es können selbstverständlich auch andere periodische Zähnezahlen verwendet werden, so z.B. die 3/2-, 5/2-, 7/2-, 5/4-, 7/4- oder 7/6-fache Zähnezahl des Maschinenteilrades, und zwar insbesondere dann, wenn der Modul zu klein oder der Durchmesser des Proberades zu groß werden würde. Dieser soll nicht größer als 1/2 bis 3/4 des Durchmesser des Maschinenteilrades sein, wie in den Abnahmebedingungen für Verzahnmaschinen festgelegt wurde.

Mit diesen periodischen Proberad-Zähnezahlen entstehen exakte zyklische Kreisteilungsfehler, Verzahnungsrundlauffehler (Zahndicken- oder Zahnlukenfehler) und Zweiflankenwälzfehler (Wälzsprünge f_i "), an geradverzahnten Rädern und zusätzlich noch Zahnflankenwelligkeits-Fehler an schrägverzahnten Proberädern,

bei denen nach jeder dritten, fünften oder siebten Teilung die maximalen Fehler auftreten.

Zum Messen der Größen 1 bis 5 können folgende Geräte eingesetzt werden:

- Zu 1. Elektronisches vollautomatisches Teilungsmessgerät M 07637-A16 mit Kontaktgeber und Zähnezahlzählwerk für Spannenprüfungen.
- Zu 2. Elektronisches vollautomatisches Verzahnungs-Rundlaufmessgerät M07637-A17
- Zu 3. Elektronisches Zweiflanken-Wälzmessgerät M 07637-A18
- Zu 4. Elektronisches Zahnflanken-Welligkeits-Messgerät M 07637-A19
- Zu 5. Elektronisches Flankenform- und Flankenrichtungs-Messgerät M 07637-A 20

Die obengenannten Messgeräte können direkt an das elektronische Längenmessgerät M 07637-A11 angeschlossen werden.

Dieses Längenmessgerät dient zur elektronischen Verstärkung und trägheitslosen Vergrößerung der von den Elektronischen Meßwertgebern gesendeten Meßwerte, sowie zum Anzeigen und elektrischen Registrieren mit wahlweiser 250-, 500-, 1000- und 2000-facher oder 500-, 1000-, 5000 und 10 000-facher Meßwertvergrößerung.

Das Elektronische Grundgerät besteht aus dem:

volltransistorierten vierstufigen Trägerfrequenzverstärker mit Oszillator und Phasenbrücke.

Kompensations-Schnellschreiber mit 100mm Schreibbreite und dem

elektronisch stabilisierten Netzteil.

Alle Teile sind in einem tragbaren stabilen Gehäuse aus Blech untergebracht. Alle Elektrischen Längenmeßgeräte und Elektronischen Verzahnungs-Meßgeräte sind anschließbar. Für die vollautomatisch arbeitenden Verzahnungs-Meßgeräte wird die Betriebsspannung, als stabilisierte Gleichspannung von 24 V, geliefert. Auf die elektrische Nullpunkt-Konstanz wurde besonderer Wert gelegt. Das Gerät wurde so dimensioniert und stabilisiert, daß nach einer Einschaltdauer von ca. 10 Minuten die elektrische Nullpunkt-Wanderung $< 0,5 \%$ vom Skalen-Endwert ist. Dadurch ist eine Beeinträchtigung der Meßwerte während der Prüfung so gut wie ausgeschlossen.

Mit dem Empfindlichkeits-Regler "Geber-Eichen" kann die Meßwertvergrößerung beim Vergleich mit einem definierten Endmaß z.B. $20 \mu\text{m}$ das zwischen die Meßtaster und die zu prüfenden Zahnflanken eingeführt wird, jederzeit überprüft und erforderlichenfalls genau eingestellt werden, was mit mechanischen Geräten nicht möglich ist. Diese Meßwert-Regulierung ist besonders dann notwendig, wenn der Meßtaster nicht genau im rechten Winkel auf das zu prüfende Objekt aufgesetzt werden kann, wie dies beispielsweise oftmals bei der Teilungsprüfung der Fall ist, wodurch Winkelfehler eintreten.

Die Kompensations-Schnellschreiber sind mit Stellmotoren ausgerüstet, welche die Schreibstifte den Meßwerten entsprechend einstellen.

Zehn durch Handbetätigung umschaltbare Papierablaufgeschwindigkeiten von 10 - 5 - 2 - 1 - 0,5mm/sec und 12 - 6 - 3 - 1,2 - 0,6mm/min sind während dem Lauf umschaltbar.

Zur vollen Ausnützung des Registrierpapiers z.B. bei der Verzahnungs-Rundlaufprüfung, ist das Gerät zusätzlich mit einer Nullpunkt-Verschiebung über den gesamten Schreiberbereich ausgerüstet. Damit ist es möglich, den Nullpunkt des Schreibstiftes wahlweise nach links, in die Mitte oder nach rechts, einzustellen.

Arbeitsweise

Die vom Elektronischen Meßwertgeber gesendete und an der Meßdiagonale der Differential-Meßbrücke auftretende Meßspannung, die der Längenänderung proportional ist, wird einem vierstufigen Verstärker zugeführt. Der Verstärkungsfaktor ist entsprechend den vier Meßbereichen in vier Stufen unterteilt und umschaltbar. Durch eine extrem hohe Gegenkopplung und hochkonstante Speisepannung ist gewährleistet, daß Alterung, Temperaturschwankungen und Netzspannungsschwankungen über einen langen Zeitraum keinerlei Einfluß auf den Verstärkungsfaktor haben. Durch die hohe Gegenkopplung wird gleichzeitig ein linearer Verstärkungsfaktor in allen Messbereichen erreicht.

Die am Ausgang des Verstärkers auftretende, dem Meßwert exakt proportionale Wechselspannung wird in eine phasengesteuerte Brücken-Gleichrichterschaltung geleitet. Durch Phasenvergleich entsteht im Nullzweig der Brücke je nach positiver oder negativer Abweichung des Meßwertes eine entsprechend positiv oder negativ gerichtete Gleichspannung. Mittels eines Umschalters kann diese wahlweise auf das Instrument, oder auf den Schreiber geschaltet werden.

Die zur Speisung der Differentialbrücke und des phasengesteuerten Gleichrichters erforderliche Trägerfrequenz von 17 kHz wird in einem amplituden-stabilisierten Oszillator erzeugt.

Entsprechend den hohen Anforderungen kommen nur besonders ausgewählte und engtolerierete Bauelemente zur Anwendung, die eine höchstmögliche Betriebssicherheit und lange Lebensdauer - auch unter extremen Bedingungen - gewährleisten.

Technische Daten

Anwendungsbereich:

Streifen-Schnellschreiber für graphische Messungen von Temperaturen, Schwingungen, Dehnungen, Drücken, allgemeine Längenänderungen und für die Steuerungstechnik.

Gebrauchslage:

In allen Ebenen; das Gerät ist gebrauchslagen- und erschütterungsunempfindlich.

Messbereiche:

$\pm 100/\mu\text{m}$	$\pm 50/\mu\text{m}$	$\pm 10/\mu\text{m}$	$\pm 5/\mu\text{m}$
oder $\pm 200/\mu\text{m}$	$\pm 100/\mu\text{m}$	$\pm 50/\mu\text{m}$	$\pm 25/\mu\text{m}$
oder $\pm 500/\mu\text{m}$	$\pm 200/\mu\text{m}$	$\pm 100/\mu\text{m}$	$\pm 50/\mu\text{m}$

Messwertvergrößerungen:

500 fach	1000 fach	5000 fach	10 000 fach
oder 250 fach	500 fach	1000 fach	2 000 fach
oder 100 fach	250 fach	500 fach	1 000 fach

Netzanschluß:

Netzkabel mit Schukostecker zum Anschluß an 220 Volt Wechselspannung, 47 bis 63 Hz, bei einer Leistungsaufnahme des Gerätes von ca. 50 Watt.

Netzspannungskonstanz:

$\pm 15\%$ Spannungsänderungen der Nennspannung bleiben ohne Einfluß auf das Meßergebnis.

Meßgenauigkeit:

Die Reproduzierbarkeit der Meßwerte ist $\leq 0,01/\mu\text{m}$

Nullpunkt:

Wahlweise einstellbar: Links - Mitte - Rechts.

Schreibbreite:

100 mm mit jeweils links und rechts außen ca. 3mm langen Markierungen.

Papierablaufgeschwindigkeiten:

10 wahlweise schaltbare Papierablaufgeschwindigkeiten von 10mm/sec bis 0,6mm/min unterteilt nach:

10 - 5 - 2 - 1 - 0,5 mm/sec.

12 - 6 - 3 - 1,2 - 0,6 mm/min.

Fremdantrieb des Registrierpapiers:

Das Registrierpapier kann von einer beliebigen, außerhalb liegenden Meßstelle angetrieben werden, z.B. durch eine biegsame Welle oder durch ein elektrisches Drehfeldgeber-System.

Registriergerät:

Kompensations-Schnellschreiber mit ca. 0,08sec. Einstellzeit des Schreibstiftes über die gesamte Schreibbreite von 100mm. Die Umkehrspanne des Schreibstiftes ist $\leq 0,01$ / μ m. Robuster mechanischer Aufbau und große Stellkraft des Schreibstiftes von ca. 0,3 kg.

4 Aufzeichnungsarten:

Mit Kugelschreiber oder Tintenfeder auf lichtpausfähiges Papier.

Mit Metallstift auf Wachsschichtpapier (Einritzen der Meßwerte).

In Sonderausführung mit Heizstift auf temperaturempfindliches Wachsschichtpapier (Ausbrennen der Meßwerte).

Meßanschluß:

3polige Flanschdose mit Schraubverschluß zum Anschluß der Elektrischen Kontakt-Markengeber.

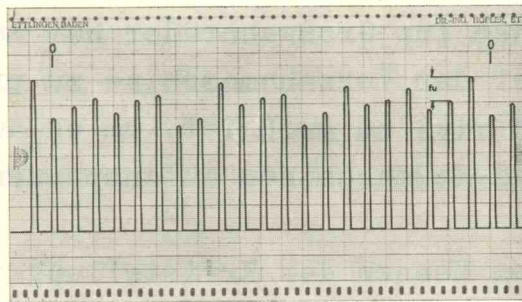
5polige Flanschdose mit Schraubverschluß für den Anschluß der Elektronischen Messtaster.

Abmessungen und Gewicht:

ca. 300 x 300 x 160mm; Gewicht: ca. 12 kg.

Bei vorliegendem Testfall waren die Kreisteilungsfehler zu messen und zu registrieren. Die Teilungssprünge f_u werden vom Registriergerät als eingipfelige Kurven aufgezeichnet. Daraus ist dann der Summenteilungsfehler und der Gesamtteilungsfehler rechnerisch zu ermitteln.

Aus nachstehendem Oszillogramm sind die Teilungssprünge f_u während einer Zahnradumdrehung zu ersehen.



Soll bei der Abnahme oder Überprüfung einer Verzahnmaschine nur die Teilgenauigkeit nachgewiesen werden, dann genügt es vollkommen in eine Scheibe aus Gußeisen mit ca. 100mm Breite mit dem Wälzfräser einzutauchen, so daß ein Schneckenrad entsteht. Dieses wird dann im aufgespannten Zustand auf der Verzahnmaschine mit einem Kreisteilungsmeßgerät geprüft und die Teilungssprünge f_u gemessen, die Summenteilungsfehler F_t elektronisch ermittelt und registriert und daraus der Gesamtteilungsfehler F_{tmax} abgelesen. Interessieren jedoch auch noch die Flankenrichtungs-, Verzahnungsrundlauf-, Zweiflankenwälz- und Zahnflanken-Welligkeitsfehler, dann muß bei Wälzfräs-

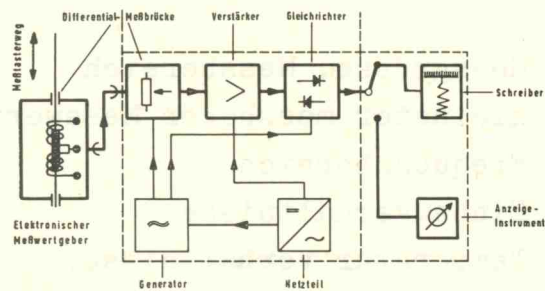
maschinen zusätzlich noch ein schrägverzahntes Proberad mit einer periodischen Zähnezahl hergestellt werden. Ein solches Rad wird auch zur Abnahme oder Überprüfung von Wälzstoßmaschinen mit einem Schneidrad als Werkzeug und für Kammhobel-Wälzstoßmaschinen empfohlen, weil ja auf diesen Maschinen kein Schneckenrad verzahnt werden kann.

Es ist zweckmässig, das Messen der einzelnen Fehlergrößen im aufgespannten Zustand des Proberades auf der Verzahnmaschine auszuführen, damit Spannfehler - bei der Aufnahme auf Prüfgeräte und auf den Verzahnmaschinen selbst - ausgeschaltet werden. Dadurch können unliebsame Streitfälle - insbesondere bei der Abnahme von Hochgenauigkeitsmaschinen, bei denen die Toleranzen ohnehin sehr eng sind - vermieden werden. Beim Testen von Verzahnmaschinen für Großzahnräder hat man keine andere Wahl als direkt auf der Verzahnmaschine zu prüfen, weil das verzahnte Proberad viel zu groß ist, um es auf Zahnrad-Prüfgeräte oder Zahnrad-Meßmaschinen aufzuspannen.

Gerätevorschlag zum Messen der Kreisteilungsfehler F_u :

- Pos. 1) 1 Elektronisches vollautomatisches
Teilungsmessgerät mit Kontaktgeber
und Zähnezahlzählwerk
Bestell-Nr. M 07637-A 16
- Pos. 2) 1 Elektronisches Längenmessgerät
mit eingebautem Kompensationsschreiber
Messbereich $\pm 100, \mu\text{m}$ bis $5, \mu\text{m}$
10 Papierablaufgeschwindigkeiten
10mm/s bis 0,6mm/min 220V/50 VA
Bestell-Nr. M 07637-A 11
- Pos. 3) 1 Rolle Registrierpapier
100mm Breite

Blockschaltbild der Messanordnung



Blockschaltbild

Mit dem unter Pos. 2) angebotenen Elektronischen Längenmessgerät können selbstverständlich viele andere Messaufgaben gelöst werden.

Dazu führen wir:

Elektronische Messtaster
mit magnetischem Meßstativ

Elektronische Messtaster mit
Kreuzgelenkfedern oder mit Befestigung
des Taststatives an der Membranfeder
oder mit hochgenauen Kugelführungen.

Vor allem zum Messen der geometrischen Genauigkeit bezüglich der Planlauf- und Rundlaufgenauigkeit, an den vorgesehenen Planflächen und Kontrollrändern, vor allem in Bezug auf den verbleibenden Restfehler nach dem Aufspannen und vor dem Abspannen der Werkstücke.

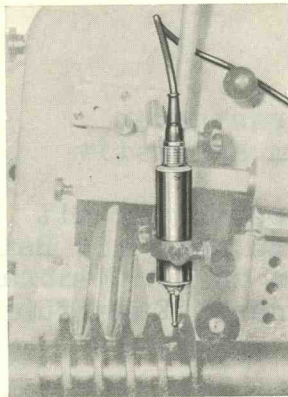
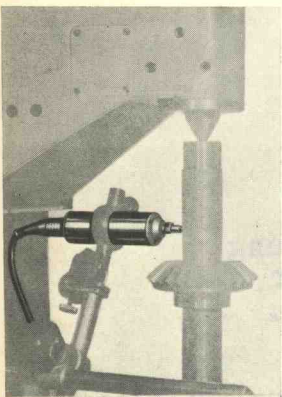
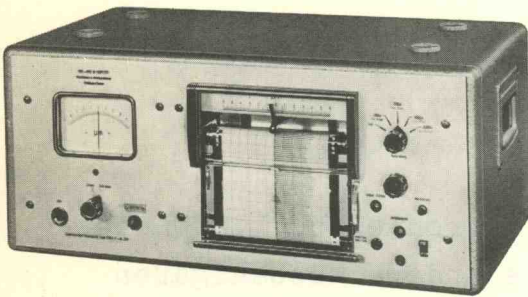
Weiterhin können Temperaturen, Schwingungen, Dehnungen, Drücke und allgemeine Längenänderungen aufgezeichnet werden. Auch für

die Steuerungstechnik bieten sich viele Anwendungsfälle.

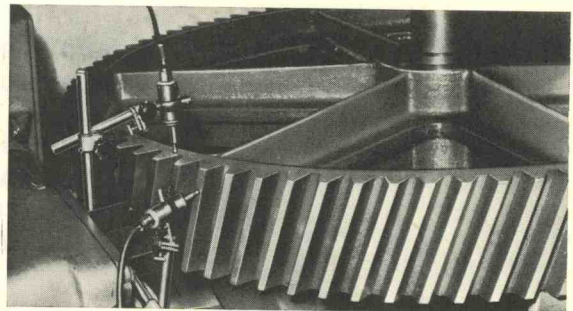
Wir sind gerne bereit, spezielle Angebote über Messwert-
aufnehmer und Verstärker zu erstellen. Hierzu bitten wir
um folgende Angaben:

Messgröße, Messbereich
kleinster messbarer Messwert
Frequenzbereich
Einbauverhältnisse
Temperaturverhältnisse.

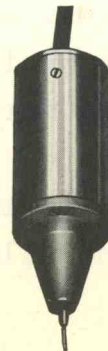
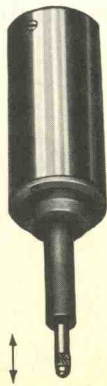
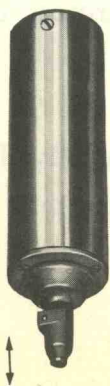
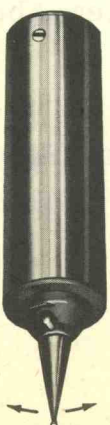
Wir bitten um Ihre Anfrage.



Elektronische Meßtaster

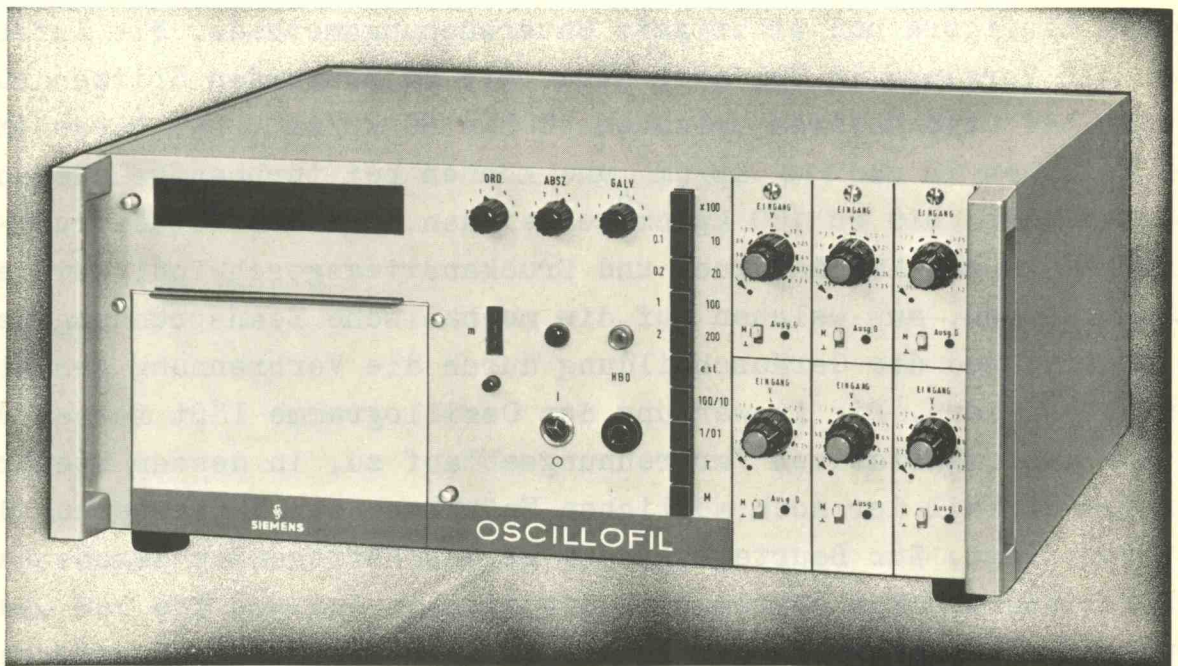


1b) Planlauf- und Rundlaufprüfung
(nach dem Verzahnen, vor dem Abspannen)



Anwendungstechnik Licht- und
Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen
Oktober 1969 Ms 7/1016

Einsatz von Lichtstrahl-Oszillographen
bei der Untersuchung von Dieselmotoren



Besondere Merkmale des OSCILLOFIL V

Frequenzbereich 0 bis 15 kHz
Eingangswiderstand $\geq 1 \text{ M}\Omega$
Hohe Eingangsempfindlichkeit
Leistungsfähiges Standard-
Galvanometer
Einfaches Eichen des Messkanals

Keine Anpassungsprobleme
Einfache Bedienung
Galvanometerschutz
UV-Direktschrift und
Schwarz-Weiß-Schrift
Schreibgeschwindigkeit 1000m/s
19"-Einbau oder Tischgerät

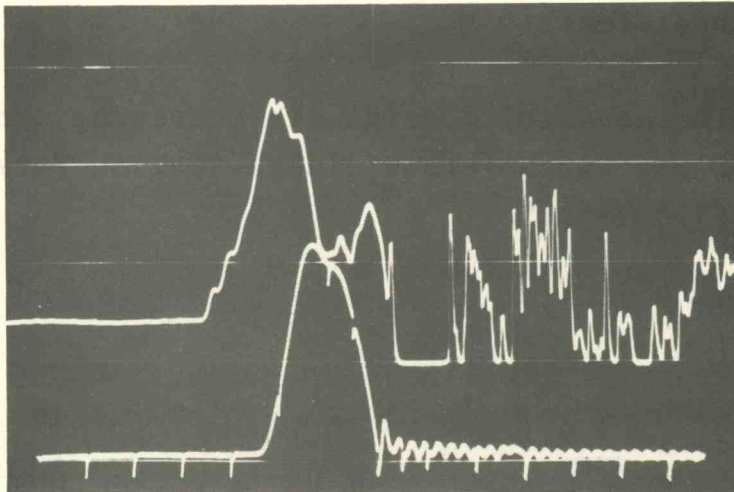
Bei der Untersuchung von Verbrennungsmotoren ist das Druckdiagramm ein wichtiges Hilfsmittel, um Einblick in die Vorgänge im Zylinder zu erhalten und um eine Trennung zwischen den thermodynamisch bedingten Verlusten und den Verlusten durch die mechanische Reibung vornehmen zu können.

Bei Messungen an Kolbenmotoren hat man zwischen Mitteldruck- Hochdruck und Niederdruckphänomen zu unterscheiden.

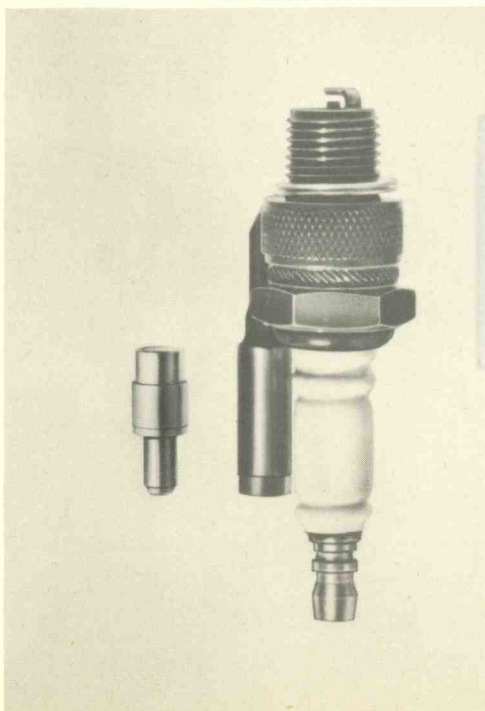
Die Mitteldruckmessung ist an Verbrennungskraftmaschinen, die bei weitem häufigste und wichtigste Untersuchungsmethode, die Aufschluß über die Vorgänge im Zylinder gibt. Die zu messenden Spitzendrücke liegen bei Otto-Motoren zwischen 50 bis 60 kp/cm^2 , bei Diesel-Motoren zwischen 70 und 110 kp/cm^2 und können bei turboaufgeladenen Motoren Werte bis zu 150 kp/cm^2 erreichen. Aus dem Mitteldruck-Diagramm können Maximaldruck und Druckanstiegsgeschwindigkeit erhalten werden, aus welchen auf die mechanische Beanspruchung der Motorteile und die Geräuschbildung durch die Verbrennung geschlossen werden kann. Die Auswertung der Oszillogramme läßt ferner Schlüsse auf den qualitativen Verbrennungsablauf zu, in dessen Steuerung ein großer Teil der noch möglichen Maßnahmen zur Verbesserung der Motoren liegt. Zur Beurteilung der geräuscherregenden Eigenschaften des Zylinderdruckes erwies sich die direkte Analyse des vom Quarzdruckaufnehmer gelieferten Signals mittels Frequenzanalytoren als gut brauchbar. Der im Brennraum angeordnete Wandler wird dabei über einen Elektrometerverstärker an einen, mit einem Regelschreiber verbundenen Terzfilteranalysator angeschlossen.

Die Hochdruckmessung wird vor allem bei der Untersuchung von Einspritzsystemen an Diesel-Motoren benötigt. Die zu messenden Spitzendrücke liegen etwa im Bereich zwischen 300 ... 600 kp/cm^2 , doch sind neue Einspritzanlagen an Großmotoren bekannt geworden, in denen Spitzenwerte bis 1200 kp/cm^2 und mehr auftreten. Die Druckmessung erfolgt entweder unmittelbar in der Einspritzpumpe, wenn Untersuchungen an diesem Bauelement vorgenommen werden, oder es wird der Einspritzdruck unmittelbar vor der Düse gemessen, um

Angaben über die Einspritzvorgänge selbst zu erhalten. Dabei werden die Druck-Diagramme meist gemeinsam mit dem Düsennadelhub-Diagramm dargestellt.



Einspritzdruck- und Nadelhubdiagramm eines Dieselmotors

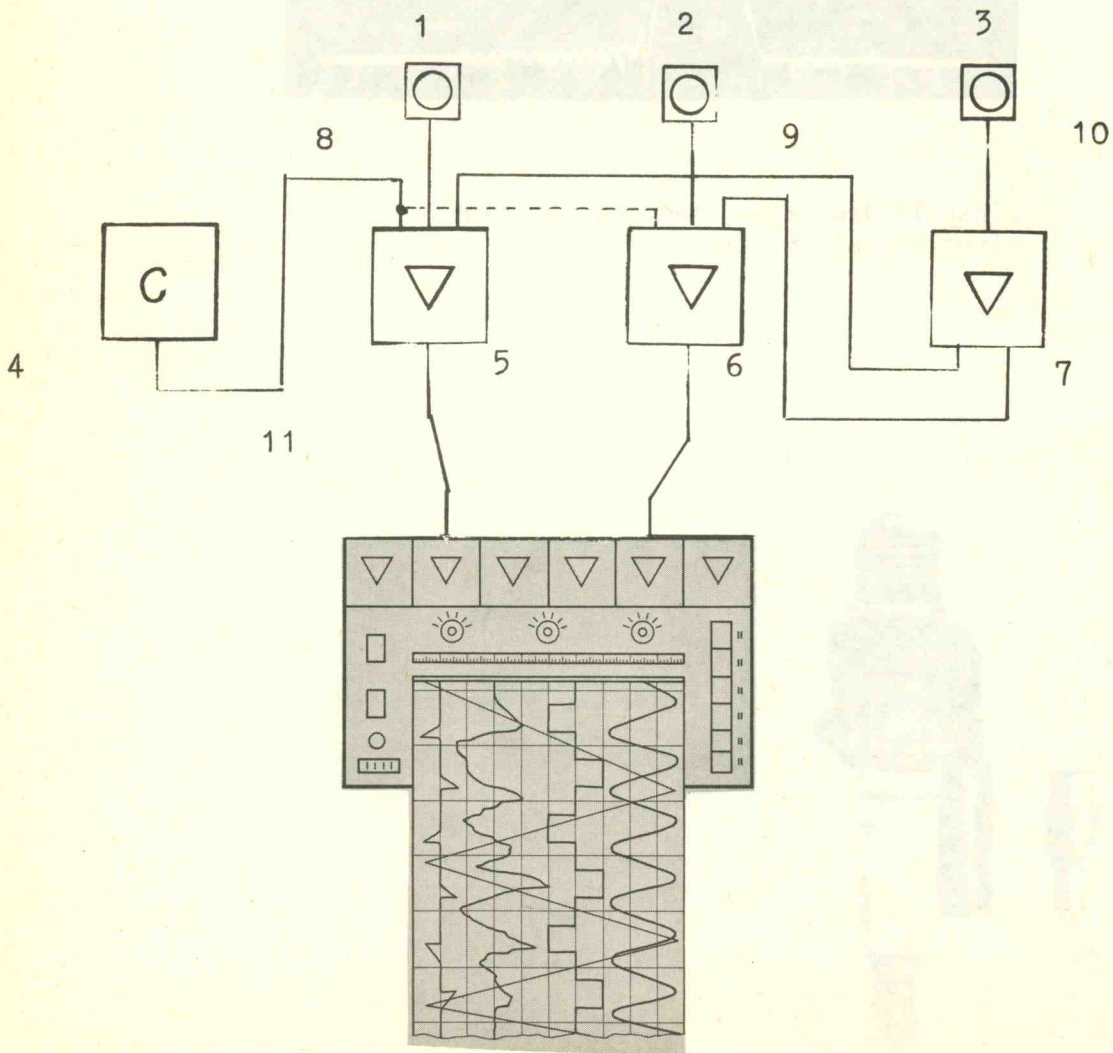


Zündkerzenadapter für Miniaturdruckwandler

Bei vorliegender Messaufgabe waren für Abnahmemessungen an Schiffsdieselmotoren folgende Größen zu registrieren:

1. Druck im Zylinder
2. Druck in der Einspritzleitung
3. Kurbelwinkel

Nachstehendes Blockschaltbild zeigt die Anordnung der Messwert-aufnehmer, Kabel und Anpassgeräte einschließlich Verstärker und Lichtstrahl-Oszillograph.

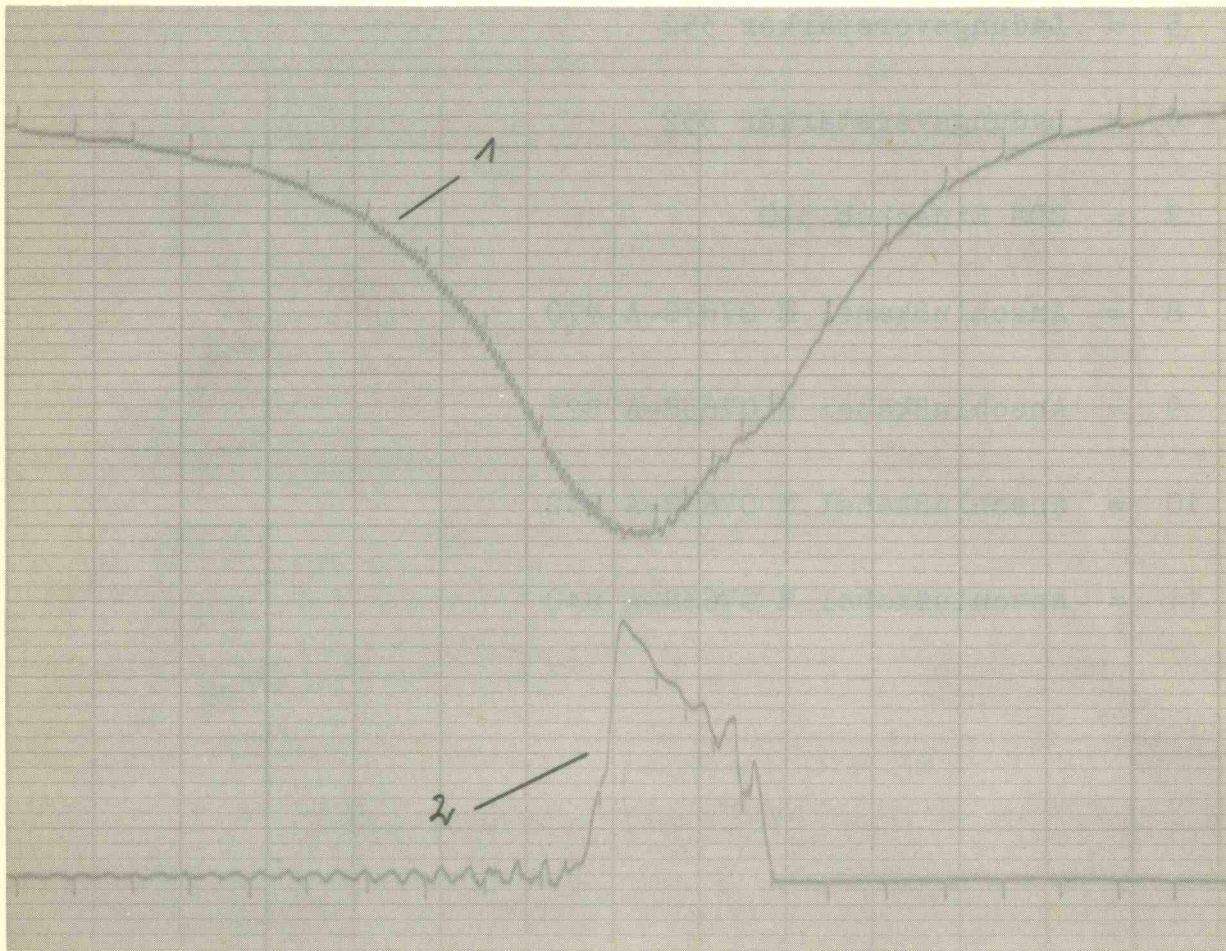


Darin bedeuten:

- 1 = Aufnehmer für Zylinderdruck 12 QP 250 CK
- 2 = Aufnehmer für Einspritzdruck 8 QP 3000
- 3 = Kurbelwinkelmarkengeber JP 1412 und KWM 330
- 4 = Calibrator 354
- 5 = Ladungsverstärker 352
- 6 = Ladungsverstärker 352
- 7 = CDM Einschub 310
- 8 = Anschlußkabel M 07638-A 870
- 9 = Anschlußkabel M 07638-A 823
- 10 = Anschlußkabel M 07638-A 832
- 11 = Anschlußkabel M 07638-A 840

Oszillogramm-Besprechung

Nachstehendes Oszillogramm ist ein typisches Diagramm, wie es bei der Indizierung von Verbrennungskraftmaschinen erhalten wird. Die Kurve Nr. 1 zeigt das Verbrennungsdruck-Diagramm, Kurve Nr. 2 den Druckverlauf in der Einspritzleitung des Motors. In diesem Verlauf sind Kurbelwinkelmarken eingeblendet. Die ganze Anordnung wurde vor den Messungen kalibriert.



Druck-Einspritzleitung	$P_E = 15 \text{ mm} \hat{=} 200 \text{ atü}$
Druck Zylinder	$P_Z = 44 \text{ mm} \hat{=} 50 \text{ atü}$
Drehzahl	$n = 248 \text{ UPM}$
Leistung	$N_E = 3795 \text{ PS}$

Folgende Geräte werden für die oben beschriebenen Messungen eingesetzt:

Zu 1)

Pos. 1) 1 Quarz-Druckgeber 12 QP 250 CK
Anschlußgewinde M 14 x 1,25
direkte Flüssigkeitskühlung
Messbereich: 0 bis 250 kp/cm² statisch
 0 bis 150 kp/cm² dynamisch
Empfindlichkeit: 70 pC je kp/cm²
Best.-Nr. M 07638-A514
LP DM 1.145,--
=====

Pos. 2) 1 Ladungsverstärker 352 A
Mini Plug-in Unit, statisch
kalibrierbar, 3 umschaltbare
Eingangszeitkonstanten,
5 Messbereiche für Ladungsmessungen
1 Messbereich für Spannungsmessung oder
Differentiation
Differenzeingang zum Einblenden von
Signalen.
Best.-Nr. M07638-A24
LP DM 1.100,--
=====

Zu 2)

Pos. 3) 1 Quarz-Druckgeber 8 QP 3000
Anschlußgewinde M 12 x 1
Messbereich: 0 bis 3000 kp/cm² statisch
 0 bis 2000 kp/cm² dynamisch
Empfindlichkeit: 4,5 pC pro kp/cm²
Best.-Nr. M 07638-A509
LP DM 965,--
=====

Pos. 4) 1 Ladungsverstärker 352 A
entspricht Pos. 2)

Zu 3)

Pos. 5) 1 Kurbelwinkelmarkengeber 330 E
260mm Aussendurchmesser
Aufnahmebohrung 200mm
mit verstellbarer Triggermarke
zur Auslösung eines Elektronenstrahl-
Oszillographen und Kurbelwinkelmarken
von 10 zu 10 Grad
Best.-Nr. M 07638-A13
LP DM 570,--
=====

Pos. 6) 1 Impulsgeberhalter 351A 01
mit Gewinde M 14 x 0,5
für max. 2 Impulsgeber VM JP 1412
Best.-Nr. M 07638-A 15
LP DM 147,--
=====

Pos. 7) 1 Impulsgeber JP 1412
Best.-Nr. M 07638-A 19
LP DM 174,--
=====

Pos. 8) 1 CDM-Einschub 310
für Mini-Plug-in System
zum Einblenden von Kurbelwinkelmarken
in Verbindung mit den Ladungsverstärkern
Pos. 2) und 4). Wahlweise abschaltbar,
einstellbare Amplitude
Best.-Nr. M 07638-A 11
LP DM 661,--
=====

Zum Kalibrieren der Messanordnung wird benötigt:

Pos. 9) 1 Calibrator-Einschub 354
Für Mini-Plug-in System zur
Ladungskalibrierung von Ladungsver-
stärkern mit 5 Messbereichen und fein-
stufiger digitaler Einstellung in
pico Coulomb
Best.-Nr. M 07638-A 31
LP DM 820,--
=====

Pos. 10) Zum Einbau der Mini-Plug-in Einschübe wird eine Mini-Rack mit Netzteil E 130 H benötigt
Höhe 7"(177mm) = 4 HE 1/3 19" Breite
Best.-Nr. M07638-A901
Preis DM 1.290,--
=====

Kabel für die Messeinrichtung

Pos. 11) 1 Anschlußkabel 10m Länge
vom Aufnehmer 12 QP 250 zum Ladungs-
verstärker
Best.-Nr. M 07638-A870/ähnlich
Preis DM 306,--
=====

Pos. 12) 1 Anschlußkabel 10m Länge
vom Aufnehmer 8 QP 3000 zum
Ladungsverstärker
Best.-Nr. M 07638-A823/ähnlich
Preis DM 106,--
=====

Pos. 13) 1 Verbindungskabel
Ladungsverstärker CDM unit E 113 KK
Best.-Nr. M 07638-A 840
Preis DM 38,--
=====

Pos. 14) 1 Verbindungskabel
Calibrator Ladungsverstärker E 113 KK
Best.-Nr. M 07638-A 840
Preis DM 38,--
=====

Pos. 15) 1 Verbindungskabel
Kurbelwinkelgeber CDM unit E 111
Best.-Nr. M 07638-A832/ähnlich
Preis DM 124,--
=====

Als Lichtstrahl-Oszillograph soll der OSCILLOFIL V Verwendung finden.

Pos. 16) 1 Lichtstrahl-Oszillograph
OSCILLOFIL V - Grundgerät
Papiergeschwindigkeit 1 - 2000mm/sek
Papierbreite 5" = 127 mm
für max. 12 Meßkanäle geeignet
1 Magnetblock für 6 Spulenschwinger
fest eingebaut mit Quaecksilberdampflampe
HBO 50 W2
mit Abszissenlinien 2mm
vorbereitet für den Einbau
eines Zeitordinatengebers
von zusätzlich einem Magnetblock
für 6 Spulenschwinger
vorbereitet für die Aufnahme
von max. 3 Zweikanal-Meßverstärkern
Netzanschluß 220 V 50 Hz / ca. 500 VA
Abmessungen 19" = 440mm breit
4 HE = 177mm hoch
450 mm tief
Gewicht ca. 20 kg
Best.-Nr. M 07 631-A 1
Preis DM 7.700,--
=====

Pos. 17) 1 Zeitordinatengeber
mit Synchronmotor und Schlitzscheibe
Ordinatenfrequenz 100/10/1/0,1 Hz
dabei 100 und 1 Hz mechanisch ausblendbar
zum Einbau in Pos. 16
Best.-Nr. 270 809
Preis DM 1.190,--
=====

Pos. 18) 3 Spulenschwinger S 4000
Meßfrequenz _ 4000Hz (-30%)
_ 2400Hz (- 5%)
 S_i = 5,5mm/mA · 1 m
 R_i = 27 Ohm
 I_{max} = ± 50 mA
zum Einsatz in Pos. 16)
Best.-Nr. M 919-A 25
je LP DM 620,--
=====

Pos. 19) 2 Zweikanal-Meßverstärker
± 125 mV - ± 250 V
 $R_i \geq 1$ MOhm
Ausgang geeignet für Spulenschwinger
S 4000
zum Einbau in Pos. 16)
zum Anschluß der Messkanäle A,B,C,F
1/12 19" breit 4 HE = 177 mm hoch
Best.Nr. M 07618-A 1
Preis je DM 1.250,--
=====

oder

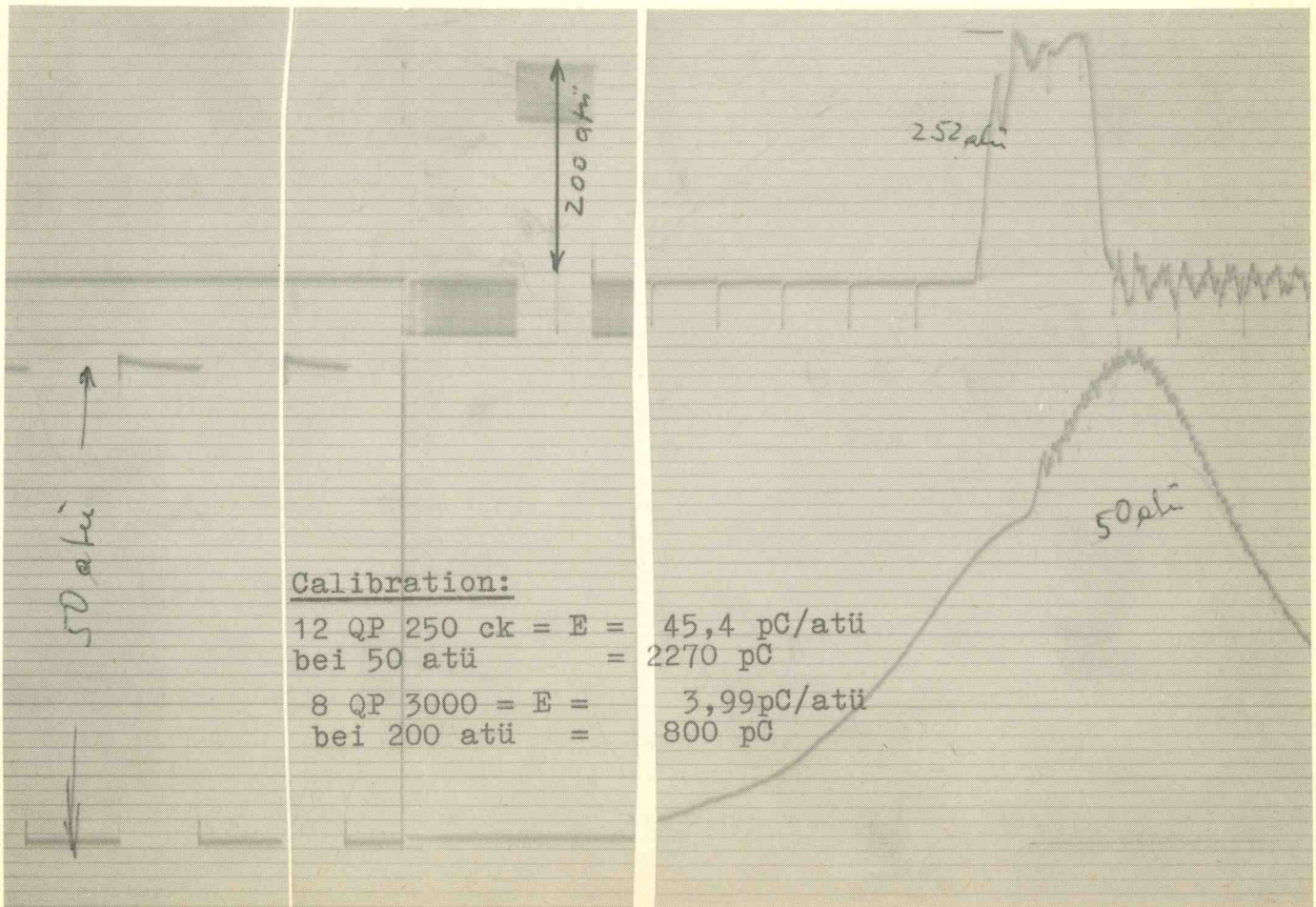
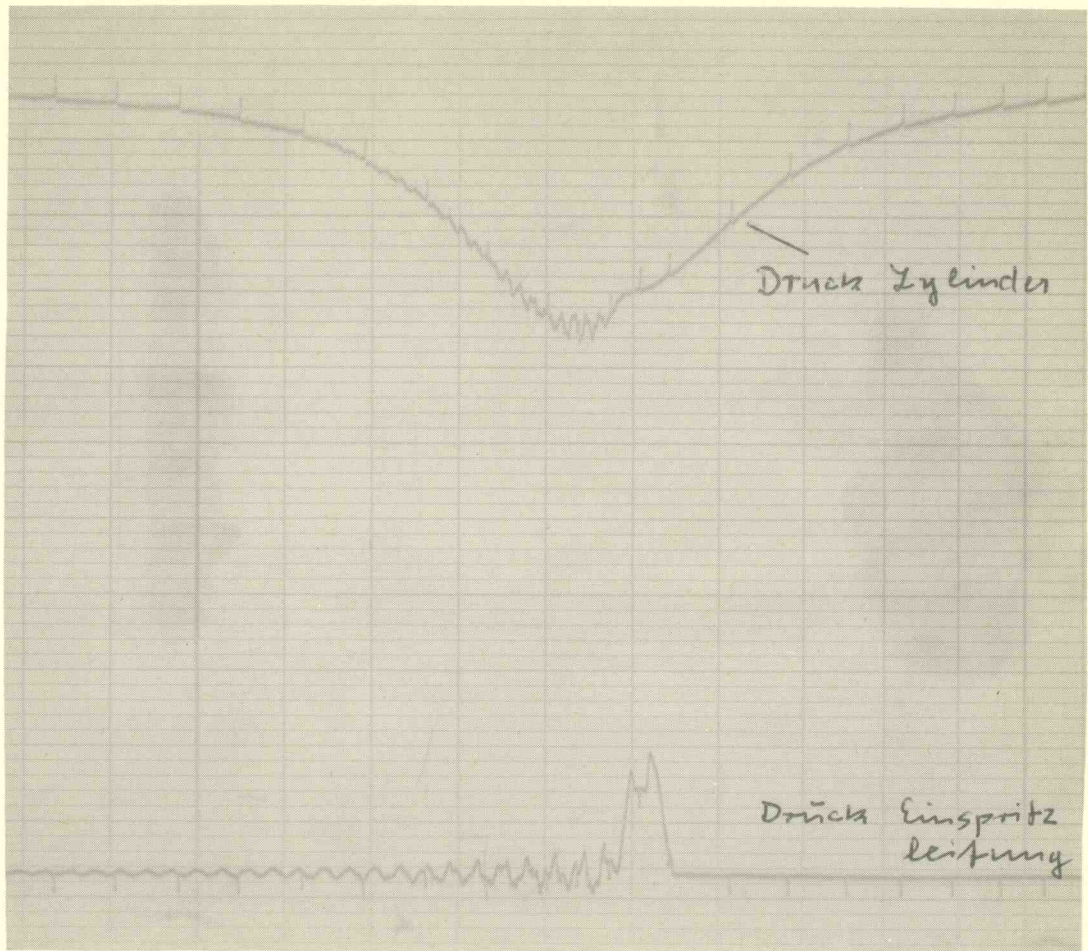
Pos. 20) 1 Zweikanal-Meßverstärker
± 1 mV - ± 300 V
 $R_i \geq 1$ MOhm
Ausgang geeignet für
Spulenschwinger S 4000
zum Einbau in Pos. 16)
zum Anschluß der Messkanäle D, E
1/12 19" breit 4 HE = 177 mm hoch
Best.-Nr. M 07632-A 1
Preis DM 1.980,--
=====

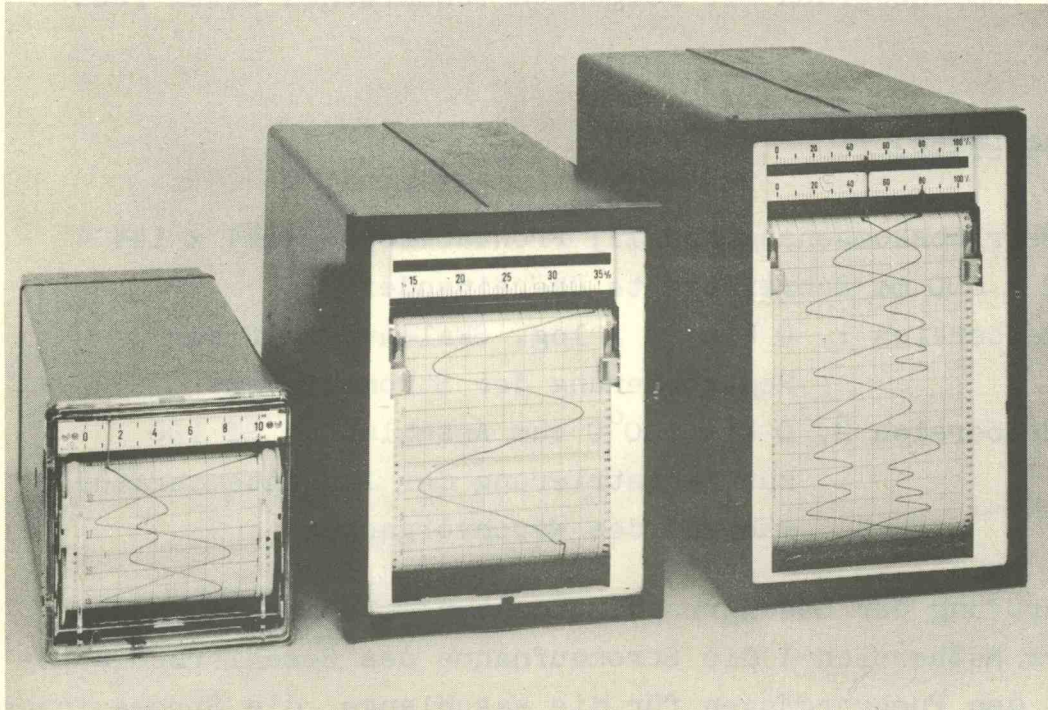
Pos. 21) 3 Anschlußdosen - Lichtstrahl-Oszillograph
zweipolig
Best.-Nr. S 70479-A1-A39
Preis je Stück DM 6,50
=====

Selbstverständlich lösen wir auch andere Messaufgaben. Wir bitten um Ihre Rückfrage.

Die genannten Preise sind freibleibend und sind ungültig bei Preisänderungen.

Leerlauf-Diagramm





Besondere Merkmale

Kompensations-Linien-
oder Punktschreiber

Hohe Genauigkeit,
Klasse 0,5

Vollständig
transistorisiert

Keine mechanischen
Zerhacker

1 oder 2 unabhängige
Meßkanäle, bis zu
6 Kanäle bei Punkt-
schreibern

Rahmen, Verstärker
und Schaltungen in
Einschubtechnik

Diagrammbreite:
100 mm (oder 2 x
100 mm bei überein-
ander geschriebenen
Diagrammen) oder
120 mm (oder 2 x
120 mm bei überein-
ander geschriebenen
Diagrammen)

Eingangssignale ab
10 mV-

Getrennte Tintensy-
steme mit 2 Farben
(rot und blau) bei
den 2-Kanal-Geräten

Acht umschaltbare
Papiergeschwindig-
keiten 10 mm/h...
3600 mm/h

Geschützte Meßschal-
tungen

Grenzkontakte
(max. und min.)

Folgepotentiometer

Vereinfachte Ausfüh-
rungen zum Messen
von normierten Strö-
men und Spannungen

Verschiedene Größen

144 x 144

192 x 240

192 x 288

Einsatz des Betriebskompensographen II in Prüf- ständen für Geschirrspül- und Waschautomaten

Zur Überprüfung der Waschvorgänge an Geschirrspülautomaten wurde ein Kompensograph mit folgenden technischen Daten festgelegt.

Technische Daten:

Betriebskompensograph II, Frontabmessung 144 x 144
2 x 100 mm Schreibbreite übereinander
Meßbereich 1, 0 bis 20 A log. Skalenverlauf zur
Registrierung der Stromaufnahme
Meßbereich 2, 0 bis 100°C zum Anschluß an PT 100
zur Registrierung der Laugentemperatur
während des Waschvorganges

Zur Überprüfung der Geschirrspülautomaten wird mit genanntem Gerät über Meßbereich 1 die Stromaufnahme des Geschirrspülautomaten bei den Pumpvorgängen für die Waschlauge, die Stromaufnahme für den Rechts- und Linkslauf der Sprühdüsen sowie die Stromaufnahme bei den einzelnen Heizstufen registriert. Durch den log. Skalenverlauf ist im unteren Skalenbereich eine gedehnte Darstellung der Stromaufnahme möglich. Dadurch werden über die Stromaufnahmekurve des Geschirrspülautomaten alle Schaltfunktionen des Programmschalters aufgezeichnet.

Mit Meßbereich 2 wird die Wassertemperatur für die Vorwäsche sowie den Hauptwaschgang registriert. Weiterhin wird die Aufheizzeit der jeweiligen Wassermenge und die Temperatur der Heißluft bei den Trockenvorgängen aufgezeichnet.

Geräte dieser Art sind bereits in größeren Stückzahlen eingesetzt. Bei der Überprüfung der Serienfertigung mit diesen Geräten betrug die Ausfallquote ca. 25 %. Durch den Einsatz dieser Geräte läßt sich eine wesentliche Qualitätsverbesserung erzielen.

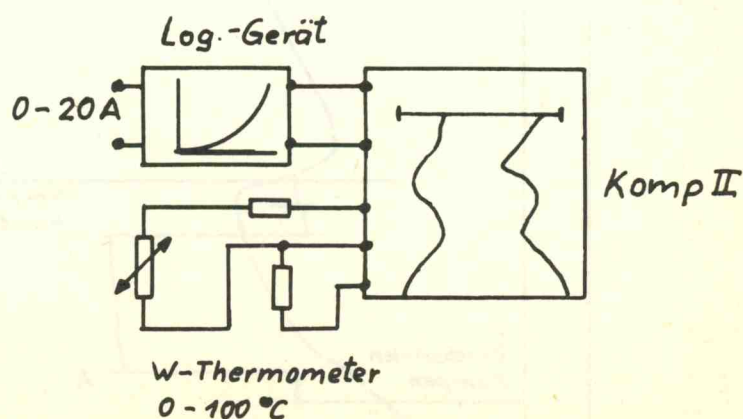
Der Einsatz solcher Geräte ist auch für die Serienfertigung von Waschautomaten denkbar. Weiterhin ist der Einsatz in Servicewerkstätten möglich, da über das abgelaufene Registrierdiagramm durch Vergleich mit einer Normalkurve die Fehlersuche wesentlich erleichtert wird.

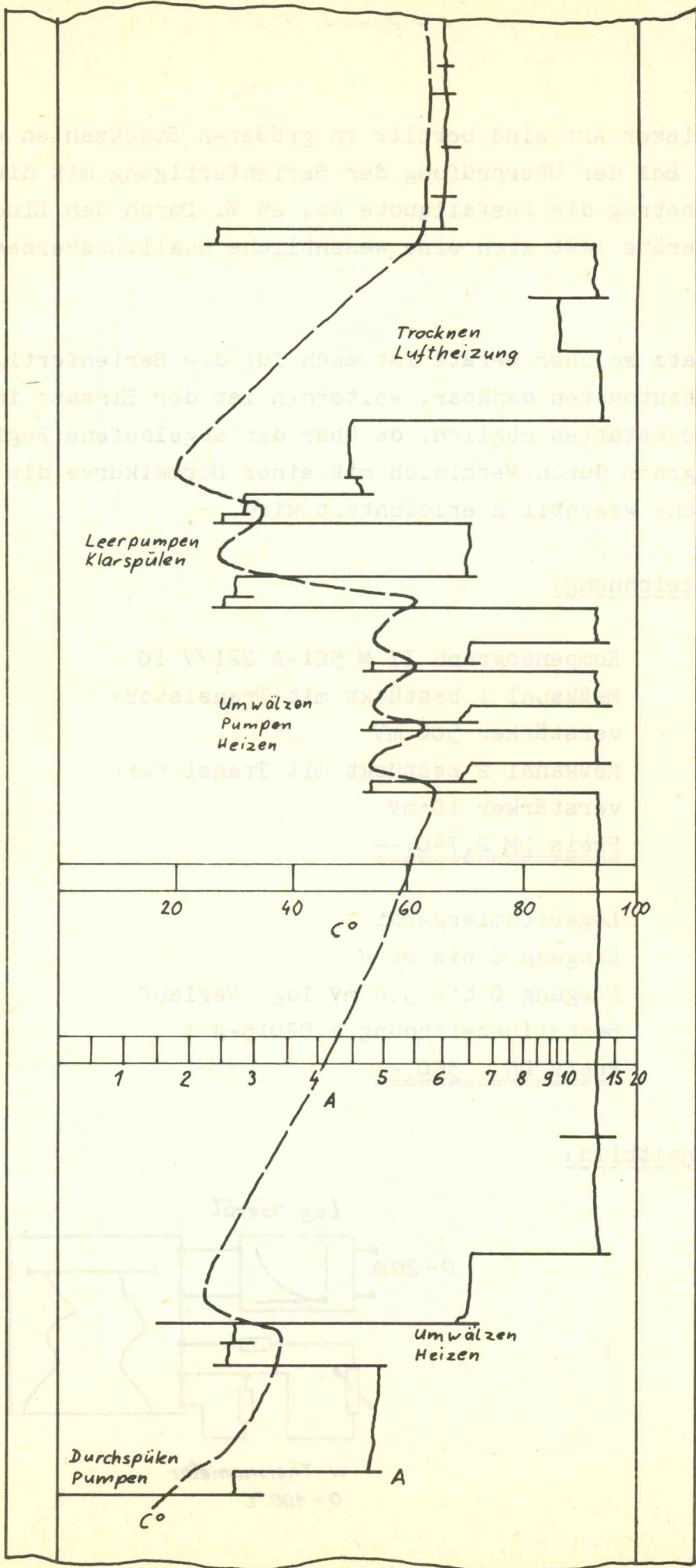
Gerätebezeichnung:

1) Kompensograph II M 501-A 221/V 10
Meßkanal 1 bestückt mit Transistor-
verstärker 500 mV
Meßkanal 2 bestückt mit Transistor-
verstärker 10 mV
Preis DM 2.740,--

2) Logarithmiergerät
Eingang 0 bis 20 A
Ausgang 0 bis 500 mV log. Verlauf
Bestellbezeichnung M 02015-A 1
Preis DM 350,--

Prinzschaltbild:

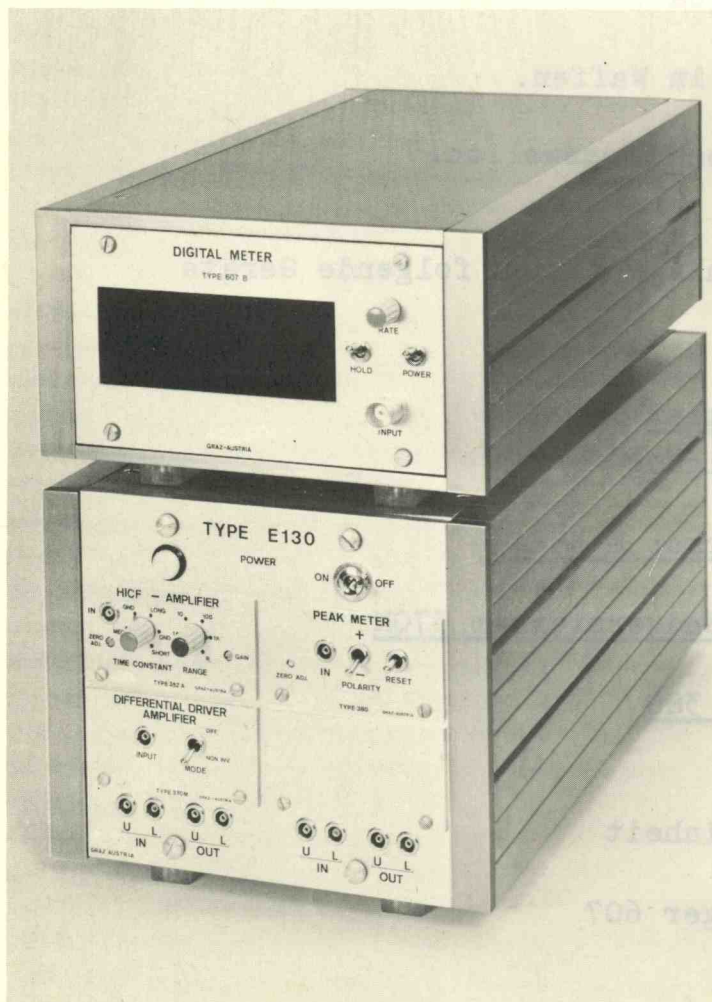




Anwendungstechnik Licht- und
Flüssigkeitsstrahloszillographen

April 1969 Ms 7/1011

Anlage zum Messen der Erschütterungen am
Gehäuse eines Elektromotors mit Quarzbe-
schleunigungsaufnehmer, Ladungsverstärker
und Digitalanzeige des Spitzenwertes



Besondere Merkmale der
Piezo-Messtechnik

Hohe Eigenfrequenz

Hohe Linearität,
keine Hysterese

Großer Temperaturbereich

Aufnehmer mit hoher Druck-
festigkeit und hohem
Isolationswiderstand von
ca. $10^{14}\Omega$

Mechanisch oder elektrisch
statisch eichbar

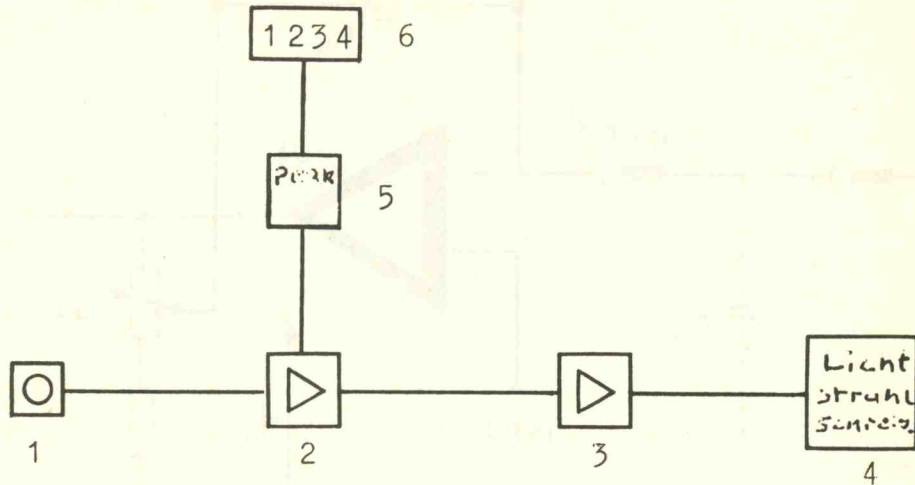
Für genaue Messungen von schnell veränderlichen mechanischen Grössen, wie Kräfte, Beschleunigungen und Vibrationen eignen sich vorteilhaft piezoelektrische Messeinrichtungen. Anwendungsgebiete sind z.B.

- ▷ Dynamische Kraftmessungen im Maschinenbau oder in der Materialprüfung.
- ▷ Schnell verlaufende Druckänderungen in Verbrennungsräumen von Motoren.
- ▷ Vibrations- und Beschleunigungsmessungen im Maschinen-, Flugzeug-, Raketen-, Schiffs- und Kraftfahrzeugbau.
- ▷ Gasdruckverläufe in Waffen.
- ▷ Druckmessungen von Stosswellen.

Bei der vorliegenden Messanlage wurden folgende Geräte verwendet:

- Pos. 1) 1 Messwertaufnehmer
für Beschleunigung
- Pos. 2) 1 Ladungsverstärker M 352A
- Pos. 3) 1 Differential-Endverstärker 370M
- Pos. 4) 1 Peak-Anzeiger 380
- Pos. 5) 1 Netzgerät
mit Einschubeinheit
- Pos. 6) 1 Digital-Anzeiger 607

Anschlußdiagramm:



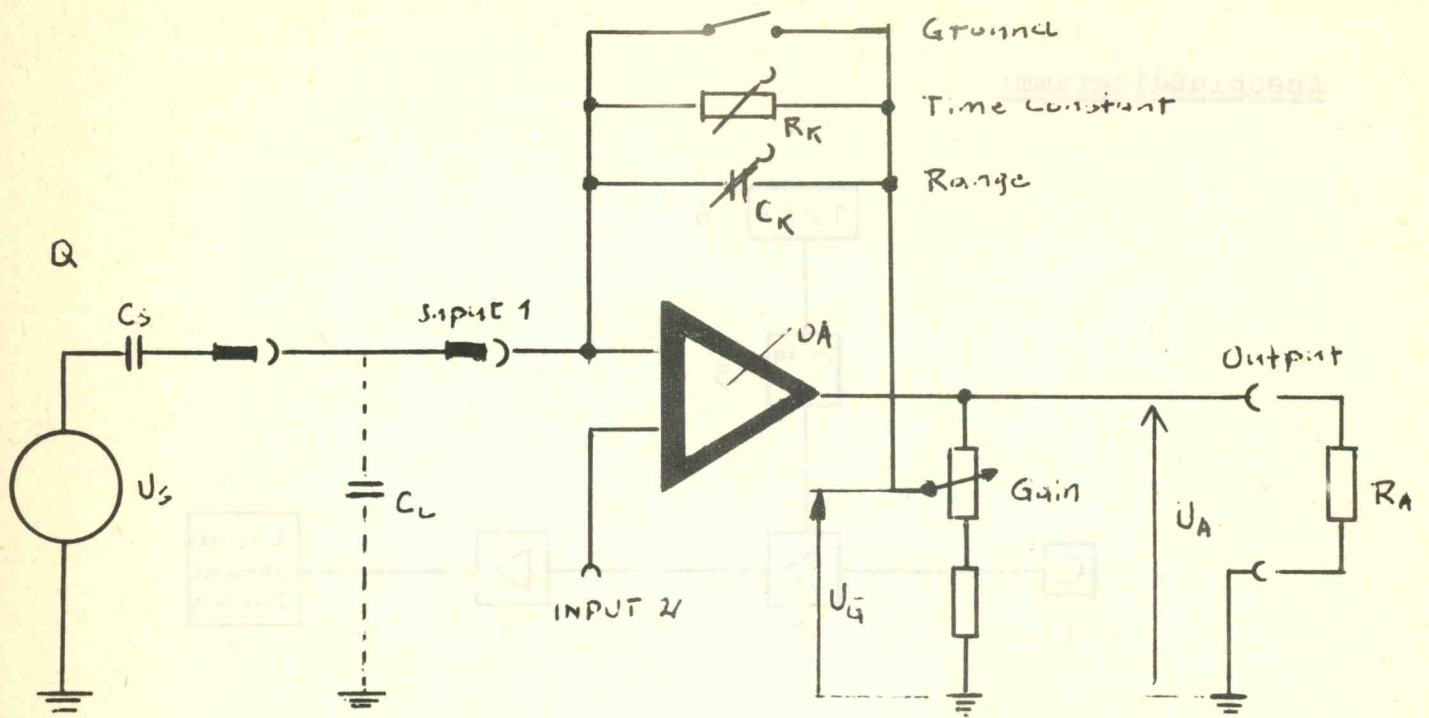
- 1 Messwertaufnehmer für Erschütterung
- 2 Ladungsverstärker
- 3 Differenzverstärker
- 4 Lichtstrahlenschreiber
- 5 Peak Meter für Spitzenwert
- 6 Digitalanzeige

1) Messwertaufnehmer:

Der Quarz-Beschleunigungsaufnehmer ist ein Messelement höchster Genauigkeit. Das Quarz-Mikromodul-Messelement bietet die Voraussetzung für einwandfreie Messungen. Statische Eichbarkeit, Linearität besser als 1 % und niedrige Querempfindlichkeit, sind besondere Merkmale dieser Messwertaufnehmer.

2) Ladungsverstärker:

Aufgebaut nach dem Prinzip des Operationsverstärker mit hohem Verstärkungsfaktor und kapazitiver Gegenkopplung in 5 Stufen einstellbar. Eingang mit MOS-FET (Metall-Oxyd-Silicon-Field-Effect-Transistor).



Die zu Messwert
Aufnehmer

Kurzlabel

Ladungsverstärker

Verbraucher

Die Quellenspannung U_s ist proportional der zu messenden physikalischen Grösse. Nach Thevenin verhält sich der Messwertaufnehmer wie eine Spannungsquelle in Serie mit einem kapazitiven Blindwiderstand. Somit gilt

$$Q = k \cdot p = U_s \cdot C_s$$

darin bedeuten $k =$ Wandlerkonstante in pC/kpcm^{-2}
 $p =$ Druck in kp/cm^2
 $Q =$ Ladung in pC
 $U_s =$ Spannung in V
 $C_s =$ Kapazität des Messwertaufnehmers in pF

Für die Ausgangsspannung ergibt sich:

$$U_A = \frac{Q}{C_k} \cdot A$$

darin bedeuten $Q =$ Ladung
 $C_k =$ Gegenkopplungskapazität
 $A = \frac{U_A}{U_G}$ Anteil der am Poti (GAIN) abgenommenen Ausgangsspannung

Der Operationsverstärker OA hat Differenzeingang mit hoher Gleichtaktunterdrückung. Über den Differenzeingang können Marken eingeblendet oder das Kalibrieren der Messkette erfolgen. Der gesamte Verstärker ist mit Silikonvergußmasse vergossen und daher weitgehend unempfindlich gegen Beschleunigungs- oder Schockbeanspruchung.

Betrieb:

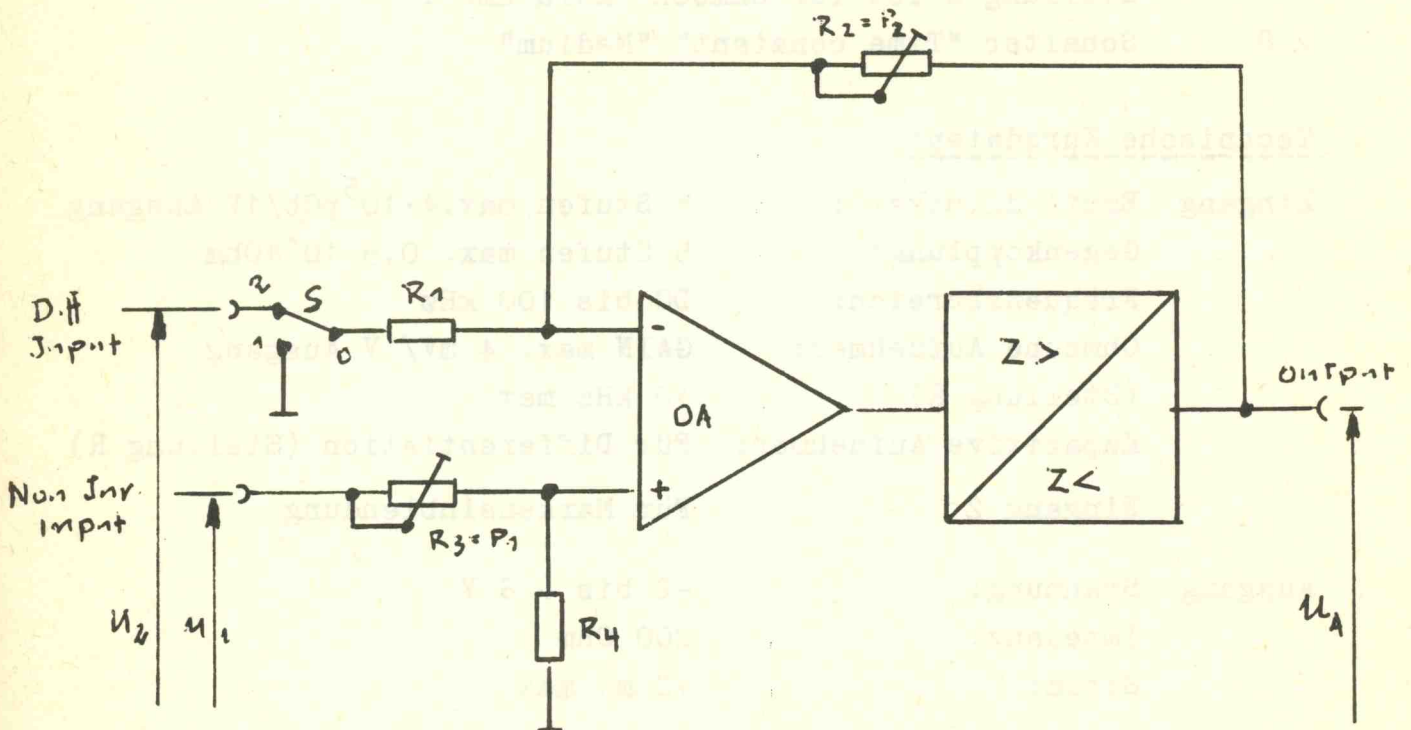
- 2.1 Netz anschliessen
- 2.2 Schalter "Time const" auf "GND"
- 2.3 Messwertaufnehmer anschliessen
- 2.4 Ausgang out mit peak Anz. "in" verbinden
- 2.5 Netzschalter auf "on" am Einschub Lampe leuchtet
- 2.6 Nullabgleich "ZERO ADJ" auf Null
- 2.7 Schalter "Range" möglichst hohe C_k -Werte für Stabilität dagegen empfindlicher bei kleiner C_k . Stellung R ist für ohmsche Aufnehmer.
- 2.8 Schalter "Time constant" "Medium"

Technische Kurzdaten:

Eingang	Empfindlichkeit:	5 Stufen max. $4 \cdot 10^5$ pCb/1V	Ausgang
	Gegenkopplung:	5 Stufen max. $0,5 \cdot 10^{14}$ Ohm	
	Frequenzbereich:	DC bis 100 kHz	
	Ohmsche Aufnehmer:	GAIN max. 4 mV/1V	Ausgang
	(Stellung R)	10 kHz max.	
	Kapazitive Aufnehmer:	Für Differentiation (Stellung R)	
	Eingang 2	Für Markeneinblendung	
Ausgang	Spannung:	-2 bis + 8 V	
	Impedanz:	200 Ohm	
	Strom:	10 mA max	
	Linearität:	$< 0,2 \%$	
	Temperatur-Drift:	$200 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (bis 50°C)	
	Störabstand:	-75 dB max.	
	Rauschspannung:	0,75 mV am Ausgang	

3. Differential Endverstärker:

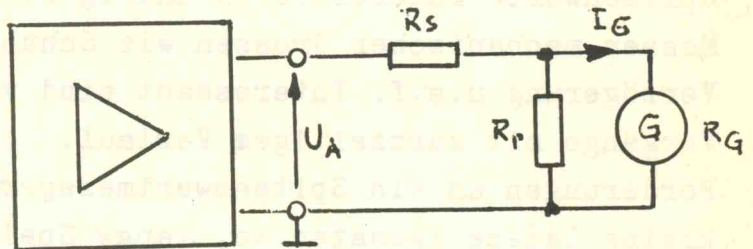
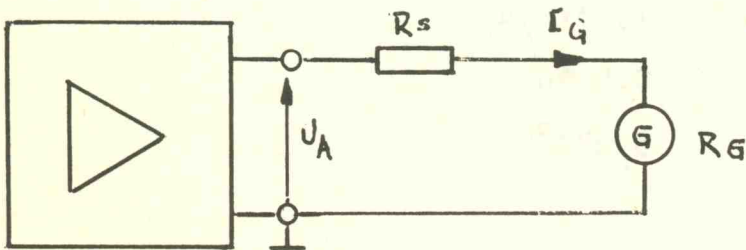
Für Galvoanschluß oder andere niederohmige Verbraucher.
Eingang integrierter Operationsverstärker OA. Darauf folgt Impedanzwandlerstufe Z mit zwei leistungsstarken gegentaktgeschalteten komplementären Emitterfolgern. Die Gegenkopplung führt vom Ausgang über ein Poti zum invertierenden Eingang des OA zurück. Mit diesem Poti können die Verstärkungsverluste in der Impedanzwandlerstufe Z kompensiert werden. Man erhält dadurch im gesamten Aussteuerbereich einen nahezu konstanten Verstärkungsfaktor (Linearität).



Betrieb:

- 3.1 Eingang "in" von Ladungsverstärker "out" oder peak "out" anschliessen
- 3.2 Schalter "Mode" bei asymmetrischem Betrieb "NON INV"
- 3.3 Spannungsverstärkungsfaktor 1 an Schlitzpotis (Seite) einstellen

Anschluß Galvos:



$$R_s = \frac{U_A - I_G \cdot R_G}{I_G}$$

$$R_s = \frac{U_A \cdot R_D}{I_G (R_D + R_G)} \quad \text{bei gefordertem Dämpfungswiderstand}$$

darin bedeuten

- U_A = Ausgangsspannung
- R_D = Dämpfungswiderstand
- I_G = Galvostrom
- R_G = Galvo-Innenwiderstand
- R_s = Serienwiderstand

$$R_p = \frac{R_D \cdot R_s}{R_s - R_D} \quad R_D = \frac{R_p \cdot R_s}{R_s + R_p}$$

Innenwiderstand des Differential Leistungsverstärkers kleiner 1 Ohm und daher vernachlässigbar.

Technische Kurzdaten:

Ausgang Spannung:	$\pm 8 \text{ Vp}$ Impedanz $7,5 \text{ k}\Omega \text{ min}$
Ausgang Spannung:	$\pm 8 \text{ Vp}$ Innenwiderstand $0,5 \text{ }\Omega$ Strom max. 120 mA
Verstärkung	1:1
Frequenzverhalten	DC bis 25 kHz 0 dB DC bis 33 kHz $\pm 1 \text{ dB}$
Anstiegsteilheit	$1,33 \text{ V}/\mu\text{s}$
Linearität	$0,5 \text{ ‰}$
Drift	$5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

4. PEAK Anzeiger

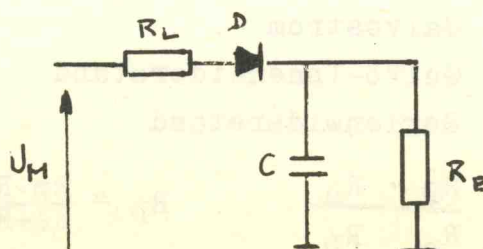
Spitzenwerte interessieren häufig z.B. in der Ballistik oder Messen mechanischer Größen wie Schub, Schock, Beschleunigung Verzögerung u.s.f. Interessant sind vor allem einmalige Vorgänge mit kurzzeitigem Verlauf.

Forderungen an ein Spitzenwertmessgerät:

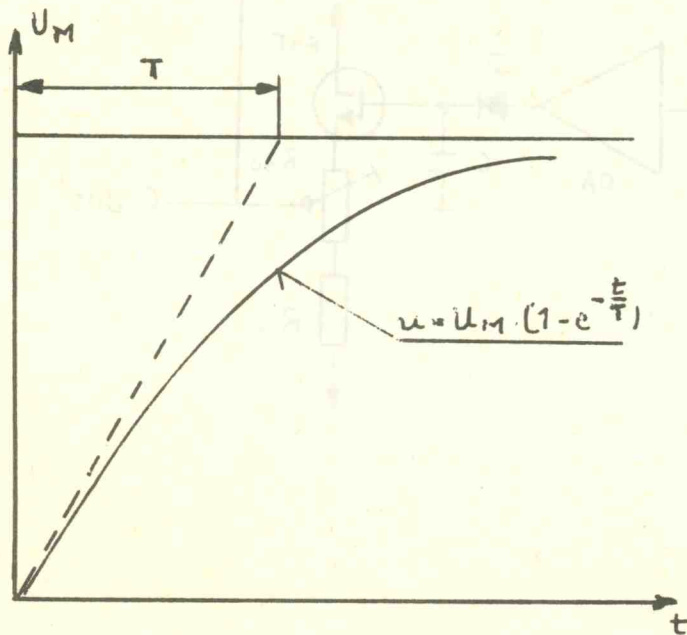
kleine Ladezeitkonstanten, lange Speicherzeit, Messen positiver und negativer Spitze, statische Kalibrierung, gute Linearität, kleine Ansprechempfindlichkeit, Frequenz- und Kurvenformunabhängigkeit innerhalb eines großen Frequenzbereiches und gute Nullpunktstabilität.

Die Messung des Spitzenwertes erfolgt durch Messung der Ladung an einem Kondensator, der über eine Diode aufgeladen wird.

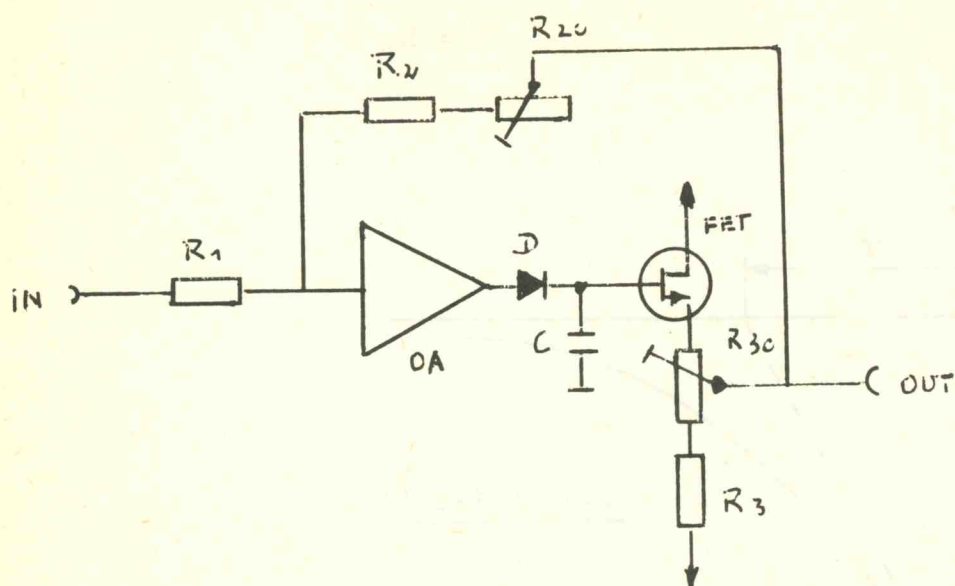
Nachstehend die einfachste Möglichkeit:



$$T = R_L \cdot C$$



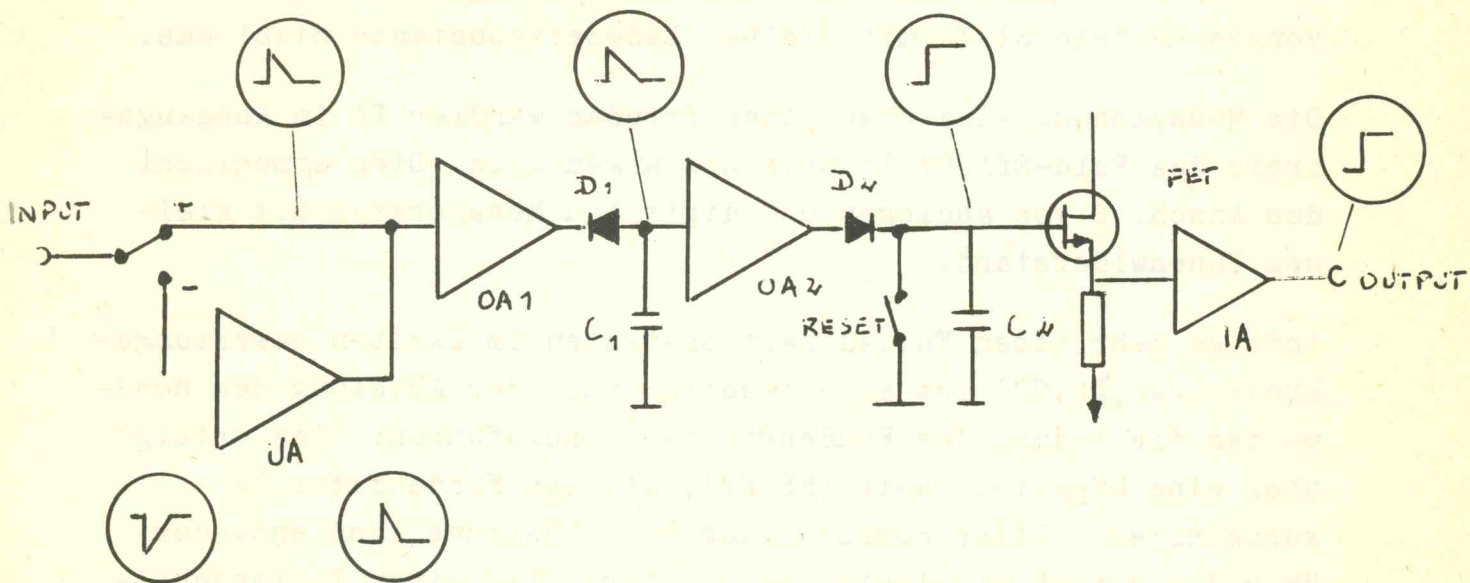
Fehler treten auf durch Kennlinie der Diode D, da erst ab einer Mindestspannung U_M eine Aufladung von C erfolgt und wenn U_C gleich U_M sprunghafte Erhöhung des Diodenwiderstandes erfolgt. Damit Vergrößerung der Ladezeitkonstante und Abhängigkeit von der Anstiegszeit der Meßspannung und deren Frequenz. Die Forderung einer großen Kapazität zur Erzielung einer hohen Entladezeitkonstante widerspricht der o.g. Forderung nach kleinem C zur Erreichung kleiner Ladezeitkonstanten. Durch einmalige Umladung wird das Problem gelöst. Durch Verwendung eines Operationsverstärkers wird der zweite Nachteil der erforderlichen Mindestspannung wegen der Ladediode D beseitigt.



Die Meßspannung wird an den Eingang "IN" geführt. Der Operationsverstärker OA lädt über die Diode D den Kondensator C auf. Über einen Feld-Effekt-Transistor (FET) wird die Spannung auf dem Kondensator sehr hochohmig abgenommen und über den Gegenkopplungswiderstand R_2 und R_{20} an den Eingang des Operationsverstärkers zurückgeführt. Bei dieser Schaltungsanordnung ist zu Beginn des Entladevorganges für die Verstärkung des Operationsverstärkers der Gesamtwiderstand, der sich aus dem hohen Widerstand der Diode im Bereich unterhalb der Schleusenspannung und dem Widerstand des Gegenkopplungskreises zusammensetzt, maßgebend. Am Ausgang des Verstärkers tritt somit nahezu die volle Betriebsspannung auf und der Kondensator wird entsprechend dieser hohen Spannung sehr schnell aufgeladen. Sodann wirkt der geringe Widerstand der Diode im Durchlaßbereich und für den Gegenkopplungskreis ist nur mehr der Gegenkopplungswiderstand (R_2, R_{20}) maßgebend. In Verbindung mit dem Widerstand R_1 im Eingangskreis ergibt sich die Verstärkung aus dem Verhältnis des Gegenkopplungswiderstandes (R_2, R_{20}) und des Eingangswiderstandes.

Durch diese Anordnung wird einerseits die Schleusenspannung der Diode entsprechend der sehr hohen Leerlaufverstärkung von ca. 30.000-fach auf einige mV herabgedrückt und dementsprechend die oben beschriebenen Fehler der einfachen Spitzenwertmessung beseitigt. Auch der, wie oben beschriebene Effekt durch die Nachladung, tritt nicht mehr auf.

Die Eingangsspannung wird über einen Polaritätsumschalter, je nach der gewünschten Polarität des zu messenden Spitzenwertes, einmal direkt an den Operationsverstärker OA 1 geführt und ein anderes Mal über einen Umkehrverstärker UA. Der Umkehrverstärker UA besitzt eine Spannungsverstärkung von 1 und überträgt die Eingangsspannung im garantierten Frequenzbereich.



Die erste Spitzenwert-Meßstufe besteht aus dem Operationsverstärker OA1, der Ladediode D1 und dem Ladekondensator C1. Um auch den Spitzenwert sehr schnell verlaufender Vorgänge richtig erfassen zu können, ist die Ladezeitkonstante dieser Stufe sehr klein gehalten. Dies bedingt die Verwendung einer kleinen Kapazität C1. Damit wird die Entladezeitkonstante ebenfalls klein und es tritt nur eine kurzzeitige Speicherwirkung in dieser Stufe auf. Diese genügt jedoch, um die nachfolgende Stufe, die eine wesentlich größere Ladezeitkapazität C2 besitzt, ebenfalls auf den gleichen Spitzenwert aufzuladen.

Die zweite Spitzenwert-Meßstufe besteht ebenfalls wieder aus einem Operationsverstärker OA2 in oben beschriebener Schaltungsanordnung. Die für die Messung notwendige hohe Entladezeitkonstante wird in dieser Stufe durch Verwendung eines Feld-Effekt-Transistors mit sehr hohem Eingangswiderstand und einer großen Kapazität C2 verwirklicht. Die durch die Verwendung einer großen Kapazität C2 bedingte größere Ladezeitkonstante wirkt sich auf das Messergebnis durch die vorgeschaltete Stufe mit kleiner Ladezeitkonstante nicht aus.

Die Meßspannung wird über einen Impedanzwandler IA im Ausgangskreis des Feld-Effekt-Transistors abgenommen. Dies ermöglicht den Anschluß von analogen und digitalen Messgeräten mit kleinem Innenwiderstand.

Infolge sehr hohen Entladezeitkonstanten im zweiten Bewertungskreis ($/A2, D2, C2$) ist es notwendig, nach der Ablesung des Messwertes die Ladung des Kondensators C2 abzuführen. Dies erfolgt über eine Rückstelltaste (RESET), die den Kondensator C2 kurzschließt. Diese Rückstellung oder Löschung kann entweder über die eingebaute Taste, oder extern über einen Tastenschalter, oder einen Spannungsimpuls erfolgen.

Betrieb:

- 4.1 Vorwahl der Polarität
- 4.2 Rückstelltaste "RESET" betätigen
- 4.3 mit Poti "ZERO ADI" Nullpunkt einstellen
(Drücken der Taste "RESET")

Technische Kurzdaten:

Eingang:	Spannung $\pm 2,5 V_{pp}$ Impedanz 10 kOhm (bei 1 kHz)
Ausgang:	Asymmetrisch, einpolig geerdet Spannung + 2,5 V Innenwiderstand $> 5 \text{ Ohm}$
Verstärkung	1 : 1
Anstiegszeit	$> 2,5 / \mu s$
Abfallzeit	$> 2,5 / \mu s$
Linearität	$\pm 0,2\%$
Frequenzverhalten	DC bis 100 kHz -1dB bei Sinus
Drift	$< 2 \text{ mV/h}$

5. Lichtstrahloszillographen

Bei der Auswahl der analogen Aufzeichnungsgeräte wird man für vorliegende Messaufgabe entweder den OSCILLOPORT E, den OSCILLOFIL E oder den OSCILLOFIL V einsetzen.

Bei der Wahl des OSCILLOFIL V kann der Differenz-Verstärker Pos. 3) entfallen, da der Anpassverstärker im Lichtstrahloszillographen bereits eingebaut ist. Der Spulenschwinger ist beim OSCILLOFIL V optimal angepaßt.

6. Digitalanzeige

Mit dem Digital-Anzeiger lassen sich die aufgetretenen Spitzenwerte anzeigen und festhalten. Die Zählfrequenz ist einstellbar.

Nachstehend ein vollständiges Angebot über eine Mess-Anlage zur Beschleunigungsmessung für den Bereich bis 1000 g.

Pos. 1) Beschleunigungsaufnehmer
für Beschleunigungen bis zu 1000g
Empfindlichkeit: 8 pC/g
Bestell-Nr. M 07 638-A 603
LP DM 1.040,--
=====

Andere Messbereiche der Beschleunigungsaufnehmer auf Anfrage.

Pos. 2) Ladungsverstärker
in Minimodulausführung
(System AVL 352 A)
mit 3 umschaltbaren Eingangszeit-
konstanten, 5 Messbereichen für Ladungs-
messung, 1 Messbereich für Spannungs-
messung oder Differentiation.
Differenzeingang zum Einblenden
von Signalen
Best.-Nr. M 07 638-A 24
LP DM 1.100,--
=====

Pos. 3) Peak Meter 380
Spitzenspannungsspeicher zur Messung
des Spitzenwertes einmaliger oder
periodischer Vorgänge. Bis 100 kHz
statisch kalibrierbar
interne oder externe Speicherlöschung
Best.-Nr. M 07 638-A 34
LP DM 1.030,--
=====

- Pos. 4) MINI-Rack mit Netzteil E 130
Format 1/3 Rack Höhe 5 1/4"
für 4 Einschübe mit eingebautem
hochstabilisiertem Netzgerät
Best.-Nr. M 07 638-A 900
LP DM 1.039,--
=====
- Pos. 5) Endverstärker (Differential Driver amplifier)
Differenzeingang,
Ausgangsstrom 120 mA max. zur Ansteuerung
von Lichtstrahloszillographen
Best.-Nr. M 07 638-A 32
LP DM 550,--
=====
- Pos. 6) Digitalanzeiger 607B
3stellig mit Druckeranschluß
BCD Code Eingangswiderstand 25 kOhm/V
Best.-Nr. M 07 638-A 49
LP DM 2.090,--
=====
- Pos. 7) Verbindungskabel vom Aufnehmer
zum Ladungsverstärker Z100N
Best.-Nr. M 07 638-A 870
LP DM 62,--
=====
- Pos. 8) Verbindungskabel vom Ladungsverstärker
zum Endverstärker (Driver) E 113 kk
Best.-Nr. M 07 638-A 840
LP DM 38,--
=====
- Pos. 9) Verbindungskabel vom Ladungsverstärker
zum Peak Meter E 113
wie Pos. 8)

Pos. 10) Verbindungskabel vom Peak Meter
zum Digitalanzeiger E 111 k
Best.-Nr. M 07 638-A 841
LP DM 44,--
=====

Pos. 11) Verbindungskabel vom Endverstärker
zum Registriergerät E 107
Best.-Nr. M 07 638-A 821
LP DM 35,--
=====

Pos. 12) Lichtstrahl-Oszillograph
OSCILLOPORT E
mit Zeitmarkengeber 100/10 Hz
Anschluß 220 V/50 Hz,
1 Galvanometereinschub
und HBO 50 W2
Best.-Nr. M 07 423-A1/B88/A 2
LP DM 8.587,50
=====

Pos. 13) Galvanometer S 4000
5,2mm/mA Stromempfindlichkeit
 $I_{\max} = 50 \text{ mA}$
Best.-Nr. M 919-A 25
LP DM 620,--
=====

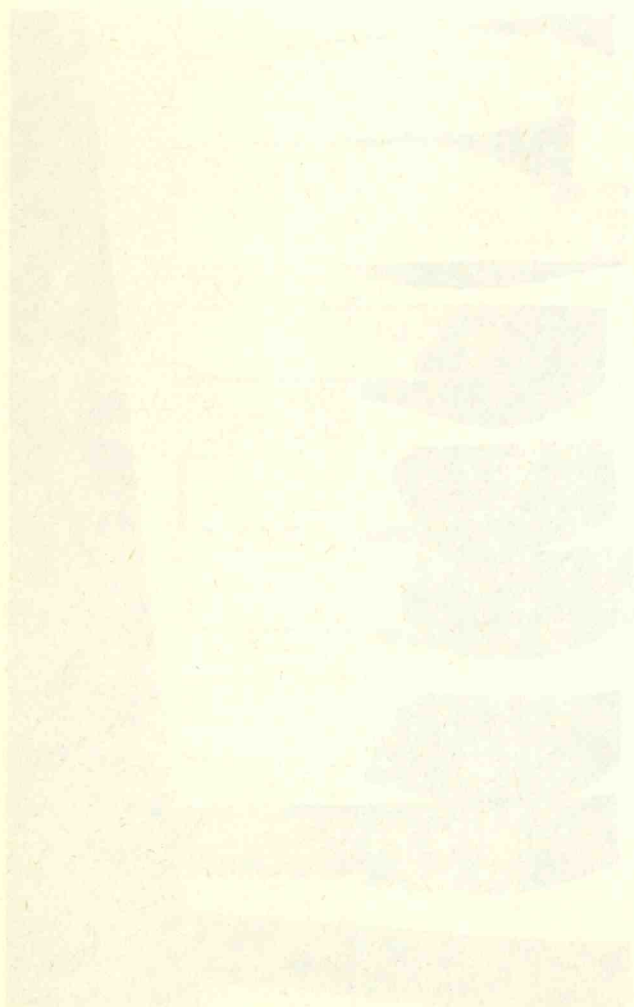
Selbstverständlich lösen wir auch andere Messprobleme.
Wir bitten um Ihre Anfrage.

SIEMENS

Kompensations-Linienschreiber

»Kompensograph III«

in der Textilindustrie



Temperaturmessungen in Fixierpressen

Meßtechnische Untersuchungen und Praxiserfahrungen

Mit dem folgenden Beitrag sollen Untersuchungsmethoden und meßtechnische Möglichkeiten aufgezeigt werden, die bei der Frontfixierung von Bedeutung sein können. In der Praxis empirisch gefundene Erkenntnisse werden durch exakte Meßwerte ergänzt und damit verständlicher.

Teil I befaßt sich mit den Grundlagen und Möglichkeiten der Temperaturmessung. Die Ausführungen sind für die im Teil II behandelten Beispiele praktischer Messungen wichtig.

Die Vielfalt der auf dem Markt eingesetzten Fixierpressen und deren Wirkungsweise hätte es interessant erscheinen lassen, die angeführten Untersuchungen, z. B. auch die Temperaturmessungen, auf eine noch breitere Basis zu stellen, als es im Rahmen dieser Abhandlung möglich ist. Die gezeigten Diagramme und die Erläuterungen müssen deshalb z. T. als Modell-darstellungen verstanden werden. Der Verfasser möchte über die bereits jetzt geklärt erscheinenden Zusammenhänge hinaus Anregungen für weitere Untersuchungen geben.

I. Temperaturmessungen in Fixierpressen

Durch die Einführung der Frontfixierung haben Temperaturmessungen in Fixierpressen eine besondere Bedeutung erhalten. Die in der Fixierfuge erreichte Temperatur ist neben Preßdruck und Preßzeit ein wichtiger Faktor bei der Anwendung dieser Verfahren. Welche Meßmethoden anzuwenden sind und welche Bedeutung dem Meßergebnis zukommt, wird von zahlreichen Praktikern diskutiert.

Unter besonderer Berücksichtigung der bei Fixierpressen gegebenen Voraussetzungen und Problemstellungen soll daher mit nachstehenden Ausführungen ein Einblick in die heute bestehenden Möglichkeiten gegeben werden. Die Erläuterungen sollen in diesem Zusammenhang nicht als vollständige Darstellung der Temperaturmeßmethoden verstanden werden. Es kommt vielmehr darauf an, wichtige Grundlagen darzustellen und in der Anwendung erprobte Meßmethoden zu beschreiben.

Temperaturmessung mit Thermopapieren

Diese für die Bestimmung der Fixiertemperatur geeigneten Temperatur-Meßstreifen sind wegen ihrer einfachen Anwendung sehr verbreitet. Es sind einseitig grau gefärbte Papierstreifen, die jeweils bei Überschreitung bestimmter Schwellentemperaturen völlig schwarz werden. Die bei der Frontfixierung besonders interessierenden Thermopapiere liegen mit ihren Schwellenwerten z. B. bei 138° C, 143° C, 149° C, 154° C, 160° C, 166° C, 171° C und 177° C. Die Thermopapiere haben gegenüber preiswerten, aber relativ trägen Meßgeräten den Vorteil, daß sie bereits bei kurzen Kontaktzeiten ansprechen. Ein Nachteil liegt darin, daß der zeitliche Verlauf des Tem-

peraturanstiegs nicht erfaßt wird. Die Streifen sind nach der Messung als bleibendes und anschauliches Zeugnis für das Prüfergebnis zu verwenden.

Mehrere solcher Papiere mit steigender Schwellentemperatur werden auf der Fixierpresse zwischen die Platten oder in die Fixierfuge eingelegt. Stellt man dann fest, daß z. B. die Meßstreifen 149 und 154° C in Schwarz umgeschlagen sind, während die Meßstreifen 160° C und darüber liegende ihre graue Farbe nicht verändert haben, so kann abgeschätzt werden, daß die wirksame Maximaltemperatur etwa 156° C betragen hat. (Bild 1)

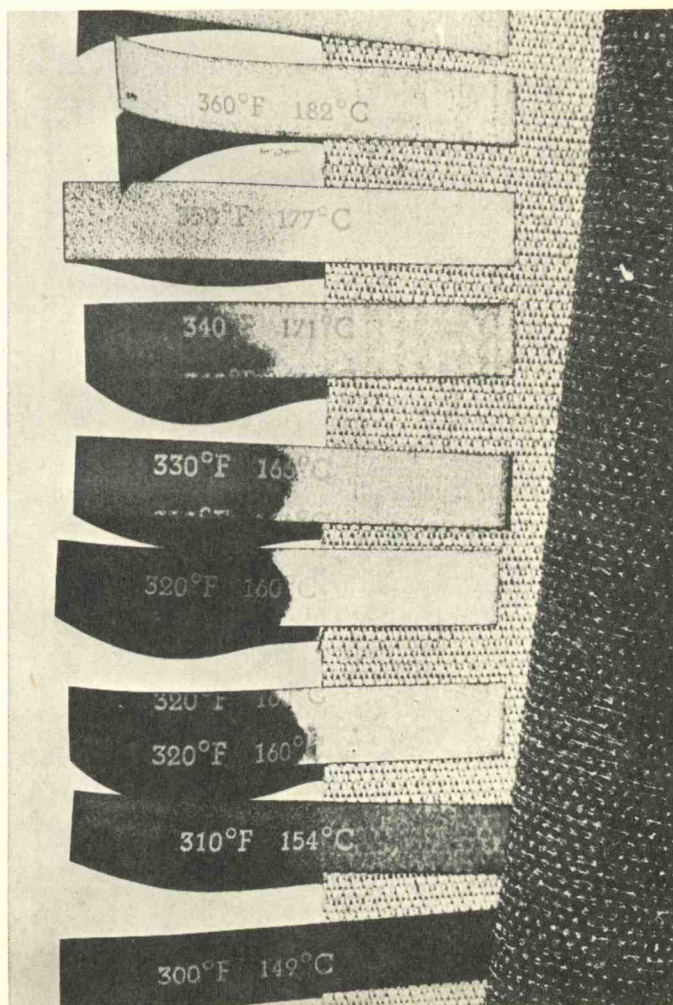


Abb. 1
Thermopapiere nach der Temperaturbestimmung

Ein Hersteller von Thermopapieren bietet Meßstreifen in kombinierter Form an. Mehrere solcher Thermopapiere mit steigenden Schwellenwerten sind auf einem Papierstreifen aufgeklebt (Bild 2). Das Auflegen einer einzigen Thermopapierkombination gestattet also, den Temperaturwert an dieser Stelle der Fixierpresse annähernd genau zu bestimmen.

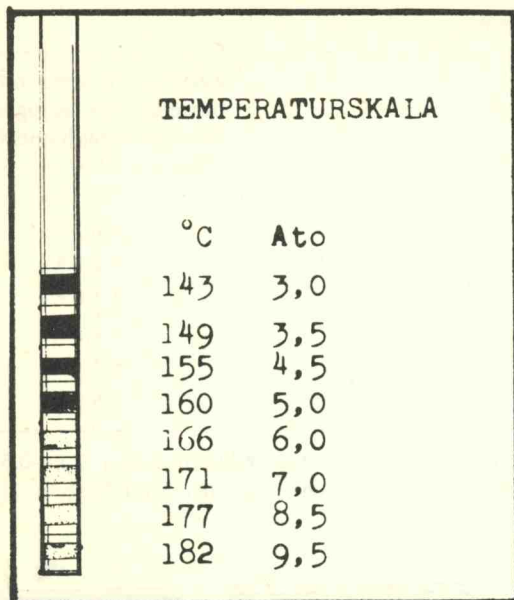


Abb. 2

Temperaturmeßstreifen in kombinierter Form (im vorliegenden Fall liegt die gemessene Temperatur zwischen 160 und 166° C)

Bei der Anwendung ist zu beachten, daß die ungeschützten Thermopapiere eine echte Temperaturangabe nur bei trockener Hitze ermöglichen. Nach Angaben der Hersteller beeinflussen Feuchtigkeit, Öle, Fette und andere Lösungsmittel den Temperaturwert mehr oder weniger. Auch Dampf kann nach Mitteilung der Lieferfirma den echten Temperaturwert verfälschen. In der Praxis können die dadurch bedingten „Fehlermöglichkeiten“ im allgemeinen toleriert werden. Da noch nicht mit genügender Genauigkeit geklärt oder abgegrenzt ist, in welchem Maße aggressive Dämpfe bei thermischer Behandlung der Gewebe die Anzeige des Thermopapieres verändern können, liegt die Vermutung nahe, daß die Anwendung der Thermopapiere für die Messung zwischen den Platten mit geringerem Fehlerisiko durchgeführt werden kann als in der Fixierfuge.

Es erscheint schon hier wichtig, darauf hinzuweisen — das gilt für Thermopapiere wie für die im weiteren behandelten Meßmethoden —, daß das Meßverfahren stets im Prüfprotokoll anzugeben ist. Nur dann ist eine Diskussion über die Vergleichbarkeit der Meßwerte möglich. Diese Forderung muß so lange erhoben werden, bis eine allgemein verbindliche Meßmethode von allen Beteiligten angewandt wird und bei Temperaturangaben vorausgesetzt werden kann.

Temperaturmessung mit Thermoelementen

Für Temperaturmessungen an Bügelmaschinen und Fixierpressen sind elektronische Geräte, deren Temperaturfühler aus Thermoelementen bestehen, besonders geeignet. Thermoelemente sind Fühler, die aus zwei verschiedenen Metallen bzw. Metalllegierungen hergestellt sind. Ein solches Thermopaar ist an einem Ende durch eine Schweißstelle elektrisch verbunden. Wird diese Schweißstelle bei einer Temperaturmessung in der Fixierpresse erwärmt, entsteht eine Thermospannung in der Größenordnung weniger Millivolt (mV). Die Thermospannung besteht, genauer gesagt, zwischen der Meßstelle (Spitze des

Fühlers) und der sogenannten Vergleichsstelle („kalte Lötstelle“).

Für die praktische Messung muß demgemäß die Temperatur der Vergleichsstelle als Bezugsbasis bekannt oder noch besser konstant sein. Würde man nach entsprechender Isolierung die Vergleichsstelle in Eiswasser von 0° C legen, so wäre die bei der Temperaturmessung entstehende Thermospannung gleich der Temperaturdifferenz zwischen Meßstelle und 0° C. In Bild 3

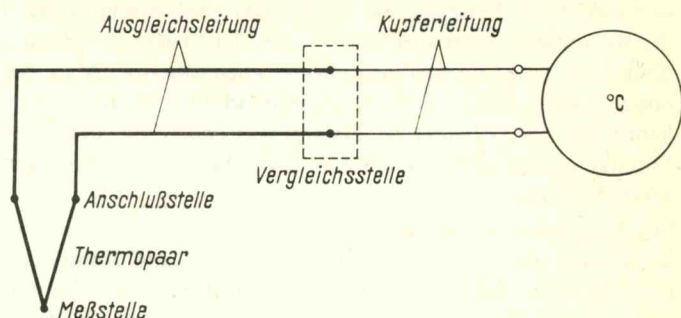


Abb. 3

Prinzipschaltung eines Temperaturmeßgerätes mit Thermoelementen (Werkfoto Siemens)

ist das Wirkschema dargestellt. Als Verlängerung des Thermopaars ist eine Ausgleichsleitung angeordnet. Diese besteht aus den gleichen Werkstoffen wie das Thermoelement oder aus preislich günstigeren Legierungen mit gleichen thermoelektrischen Eigenschaften und möglichst kleinem Widerstand. Eine solche Ausgleichsleitung stellt eine Art Verlängerungsschnur dar, die besonders bei sehr dünnen und dann teuren Thermopaaren aus preislichen Gründen sinnvoll ist. Sie wird aber auch angewendet, um den ohmschen Widerstand des gesamten Meßfühlers möglichst niedrig zu halten.

Für die betriebliche Praxis wäre eine Konstanzhaltung der Vergleichsstellentemperatur mit Hilfe von Eiswasser umständlich. Weniger aufwendig kann die Vergleichsstelle mit einer temperaturabhängigen Meßbrücke ausgeglichen werden. Eine dafür geeignete Kompensationsdose kann z. B. auf eine Bezugstemperatur von 20° C ausgelegt sein. Weicht die Raumtemperatur (Vergleichsstellentemperatur) von 20° C ab, wird eine Zusatzgleichspannung zur Meßspannung addiert. Dies gewährleistet ein temperaturabhängiger Kupferwiderstand, der Bestandteil einer Brückenschaltung ist. Bei 20° C ist die Schaltung im Gleichgewicht. Bei Abweichungen davon wird die Meßspannung positiv oder negativ beeinflusst, so daß der am Gerät abgelesene Meßwert von der Raumtemperatur unabhängig bleibt. Bild 4 zeigt das Wirkschema eines Thermoelementes mit Vergleichsstellenkompensation durch eine Brückenschaltung.

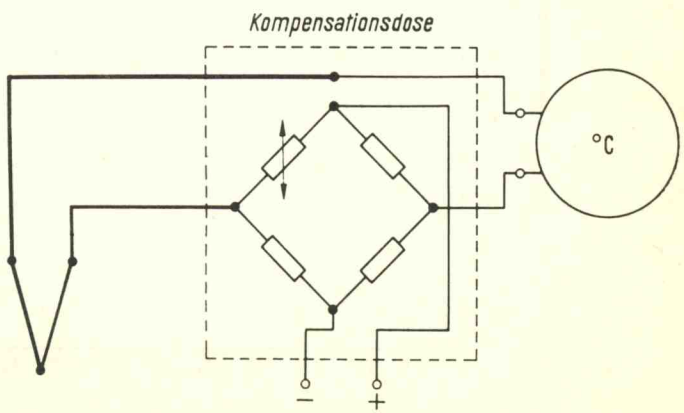


Abb. 4

Prinzipschaltung eines Thermoelementes mit Vergleichsstellenkompensation durch eine Brückenschaltung

(Werkfoto Siemens)

Zum Verständnis solcher Temperaturmeßgeräte ist noch anzugeben, daß sie der direkten Ablesbarkeit wegen nicht in mV, sondern in °C geeicht sind. In DIN 43 710 sind für verschiedene Thermolemente die entsprechenden °C-Werte für die dabei auftretenden Thermospannungen in mV niedergelegt.

Zahlreiche auf dem Markt zu findenden Temperaturmeßgeräte sind für die Verwendung von Thermolementen aus Eisen-Konstantan (Fe-Konst) ausgelegt. Diese Thermolemente stehen als Mantelthermolemente mit Außendurchmessern von 1,6 mm und mehr zur Verfügung. Bei zweiadriger Ausführung betragen die Aderndurchmesser meistens 0,5 mm. Die Thermopaare sind direkt an Drehspul-Meßinstrumente anzuschließen. Man benötigt weder Netz- noch Batterie-Anschluß. Solche Geräte haben für die Messung in Fixierpressen aber nur begrenzte Einsatzmöglichkeiten, wie aus den nachstehenden Ausführungen erkennbar wird.

Die Fortschritte in der Messung kleiner Gleichspannungen, besonders die Verwendung von Meßverstärkern und Kompensationsschreibern, haben die Möglichkeit eröffnet, auch Thermolemente mit größerem Innenwiderstand einzusetzen. Dadurch konnten Thermopaare mit wesentlich kleinerem Aderndurchmesser zum Einsatz kommen. Solche Thermolemente sind für die Messung in Bügelmaschinen und Fixierpressen vorteilhaft. Sie weisen eine besonders kleine Wärmekapazität auf und sind damit im Sinne einer schnellen Temperaturmessung günstiger. Man verwendet Thermopaare aus Chromel/Alumel bzw. Nickelchrom-Nickel (NiCr-Ni). Bei den in diesem Zusammenhang beschriebenen Ausführungen sind Aderndurchmesser von 0,07 oder 0,1 mm gegeben. Diese Thermopaare sind in einer Mantelthermolementausführung innerhalb eines Schutzmantels aus rostfreiem Stahl angeordnet. Die Manteldurchmesser betragen dafür 0,34 mm oder 0,5 mm. An der Spitze (Meßstelle) sind die Thermopaare mit sich selbst und bei bestimmten Ausführungen im Sinne einer schnelleren Ansprechzeit noch mit dem Mantelmaterial verschweißt. Bild 5 zeigt solche Thermolemente. Der unbefangene Betrachter hat den Eindruck, daß der Meßfühler nur aus einem Draht besteht.

Die von NiCr-Ni-Thermolementen abgegebene Thermospannung ist bei gleicher Temperatur zwar kleiner als bei Fe-Konst (Bild 6 zeigt dies im Diagramm), mit einer geeigneten Verstärkeranordnung wird dieser Nachteil gegenüber Fe-Konst jedoch aufgehoben.

Anzeigegenauigkeit bei Temperaturmessungen

Die Anzeigegenauigkeit von Temperaturmeßgeräten ist davon abhängig, in welcher Höhe bei dem jeweiligen Gerät der zulässige Anzeige- oder Schreibfehler toleriert werden muß. Entsprechend den Regeln des VDE sind die elektrischen Meßinstrumente mit einem Klassenzeichen versehen, welches den zulässigen Fehler kennzeichnet.

Zum Beispiel:

Klassenzeichen	zulässige Anzeige- oder Schreibfehler, bezogen auf den Meßbereichsendwert
0,1	± 0,1 %
0,2	± 0,2 %
0,5	± 0,5 %
1,0	± 1,0 %
1,5	± 1,5 %
2,5	± 2,5 %
5,0	± 5,0 %

Die Meßinstrumente mit dem Klassenzeichen 0,1—0,5 gelten als Präzisionsmeßinstrumente (in den VDE-Regeln als Fein-

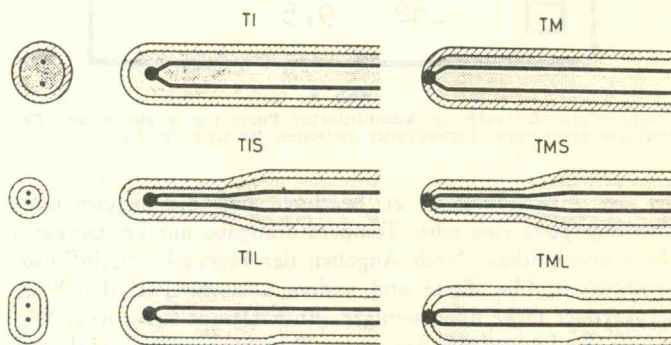


Abb. 5

- Ausführungsformen von Mantelthermolementen
 TI = isolierte Meßstelle
 TIS = verjüngte isolierte Meßstelle
 TIL = abgeflachte isolierte Meßstelle
 TM = mit dem Mantel verschweißte Meßstelle
 TMS = verjüngte Meßstelle, sonst wie TM
 TML = abgeflachte Meßstelle, sonst wie TM

(Werkfoto Philips)

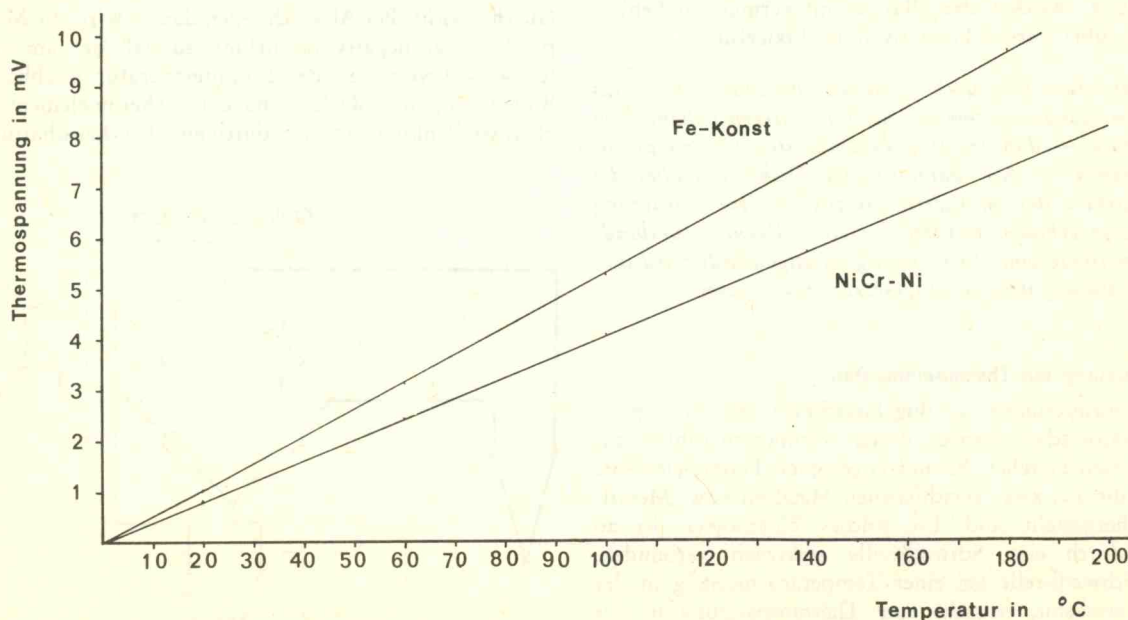


Abb. 6

Thermospannungen der Thermolemente FE-Konst und NiCr-Ni nach DIN 43 710

meßinstrumente bezeichnet) und diejenigen mit dem Klassenzeichen 1—5 sind Betriebsmeßinstrumente. Für die Temperaturmessungen an Fixierpressen dürften vorzugsweise Geräte mit dem Klassenzeichen 0,5—1,0 in Frage kommen.

Weiterhin steht die Anzeigegenauigkeit bei den hier behandelten Anwendungsarten in einem Zusammenhang mit der Ansprechzeit. Der Geber (Thermoelement) muß innerhalb der Preßzeit beim Fixieren die Temperatur des Meßobjektes schnell genug annehmen. Andernfalls erreicht der Zeiger des Anzeigeelementes nicht annähernd den Endwert. Die Meßwerte liegen dann niedriger als die wirklichen Temperaturen. Dem Praktiker wird das auch dadurch deutlich, daß die relativ schnell ansprechenden Thermopaare höhere Werte ausweisen als derartig träge Meßgeräte. Für Fixierpressen sollten deshalb sehr dünne Thermopaare, die eine möglichst geringe Wärmekapazität haben, zum Einsatz kommen.

Für eine genaue Anzeige kommt nicht zuletzt der Kontrolle der Meßstelle und der Eichung des Gerätes eine hohe Bedeutung zu. Eine genaue Eichung ist durch Vergleich einer Anzahl von Schmelz- und Siedepunkten bestimmter Stoffe möglich. Solche Festpunkte sind z. B. die Gleichgewichtstemperatur zwischen eis- und luftgesättigtem Wasser bei dem Druck P_0 (der Eispunkt 0°C) und die Gleichgewichtstemperatur zwischen Wasser und seinem Dampf bei dem Druck P_0 (der Wasserdampfpunkt bei 100°C).

Die Überprüfung der Genauigkeit eines Temperaturmeßgerätes für die hier beschriebenen Zwecke ist aber besonders für den Bereich $130\text{—}170^\circ\text{C}$ wünschenswert. Das ist mit erhitztem Öl durch Vergleich mit einem amtlich geeichten Thermometer möglich. Eine solche Eichvorrichtung zeigt Abb. 7. Das Thermo-

meter soll dabei bis zur Oberkante des Kapillarfadens eingetaucht werden, damit der gesamte Inhalt des Thermometers praktisch auf gleicher Temperatur liegt. Die Gleichmäßigkeit der Öltemperatur wird bei dieser Eichvorrichtung durch ein Magnetrührwerk und entsprechende Außenisolierung in genügender Weise sichergestellt.

Schnelligkeit der Messung/Ansprechzeit

Bei den Temperaturmessungen in Fixierpressen ist es wünschenswert, daß das Thermoelement und mit ihm auch das Anzeigeelement sehr schnell anspricht, um den „wahren Temperaturwert“ mit geringstmöglicher Verzögerung zu messen. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß Thermopaare mit größerem Durchmesser eine trägere Anzeige, d. h. eine größere Ansprechzeit bedingen als solche mit sehr dünnem Durchmesser.

Darüber hinaus ist die Ansprechzeit davon abhängig, ob eine Tauchmessung (z. B. in Wasser oder Öl) oder eine Oberflächenmessung vorgenommen wird. Bei Tauchmessungen in heißem Öl ist der Wärmeaustausch zwischen dem Meßobjekt und dem Meßfühler wesentlich besser als bei einer Kontaktmessung in der Fixierpresse zur Feststellung der Temperatur zwischen den Platten.

Wenn in Prospekten für ein Temperaturmeßgerät Ansprechzeiten von wenigen Sekunden für die Erreichung von beispielsweise 99% des Endwertes (Tauchmessung) angegeben sind, dann bedeutet dies nicht, daß so kurze Ansprechzeiten auch bei der Messung in der Fixierpresse erreicht werden.

Sie sind bei trägeren Meßgeräten oft so groß, daß man die Preßzeit auf 30 sec und mehr verlängern muß, bis die Anzeige zum annähernden Stillstand kommt. Zwischen trägeren und schnelleren Meßgeräten treten also systematisch unterschiedliche Temperaturanzeigen auf. Das gilt für den zeitlichen Verlauf des Temperaturanstiegs wie für den Endwert.

Mit den Abb. 8—10 wird dieses Verhalten verdeutlicht. Die Temperaturmessungen wurden mit einem Kompensationschrei-

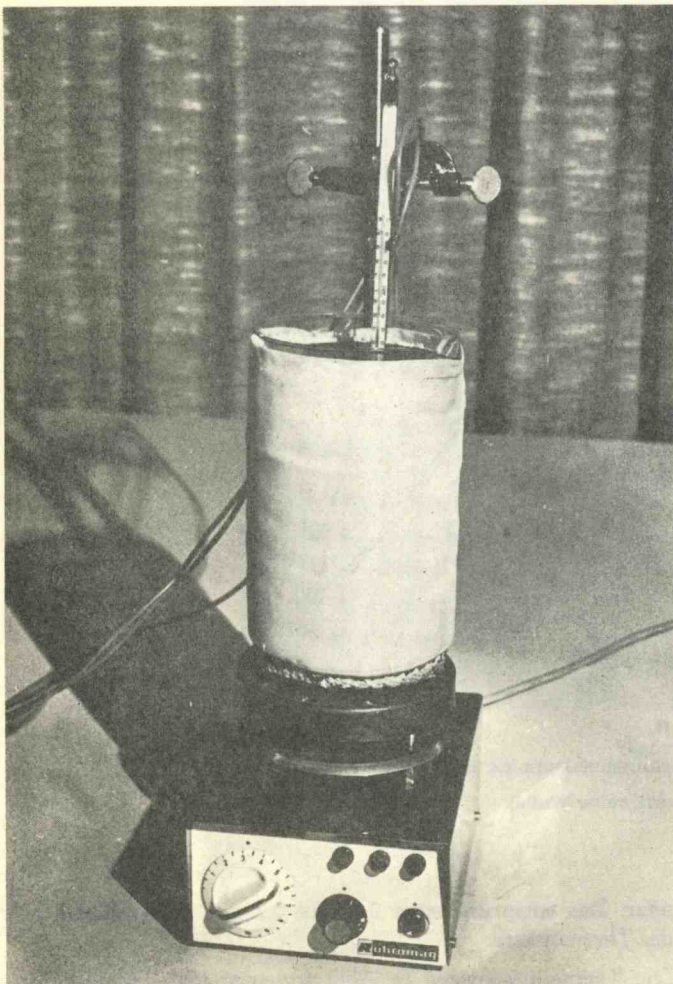


Abb. 7

Eichvorrichtung für Temperaturmeßgeräte
(Werkfoto Bielefelder Webereien AG)

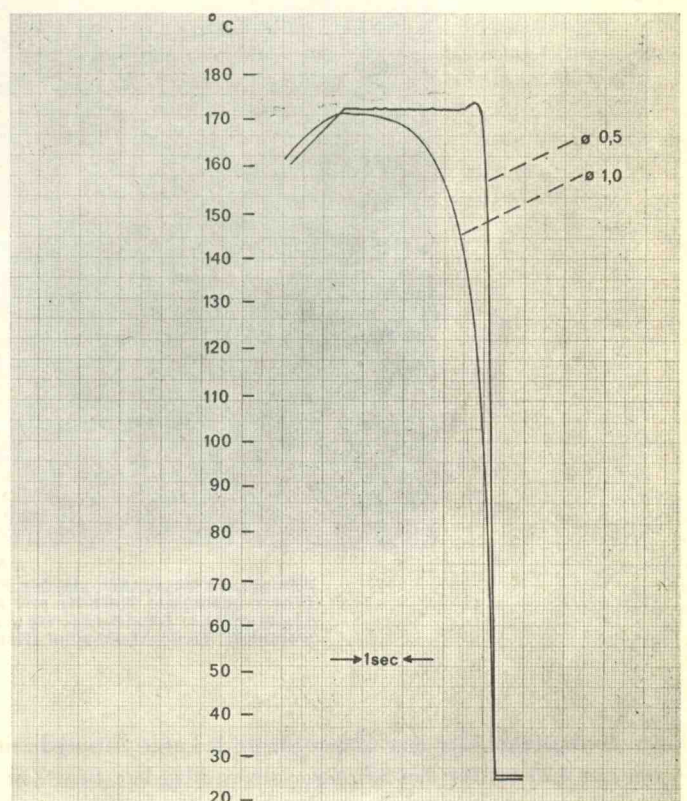


Abb. 8

Temperaturmessung in heißem Öl (Tauchmessung)
(Thermoelemente NiCr-Ni mit Manteldurchmesser 0,5 mm und 1,0 mm)

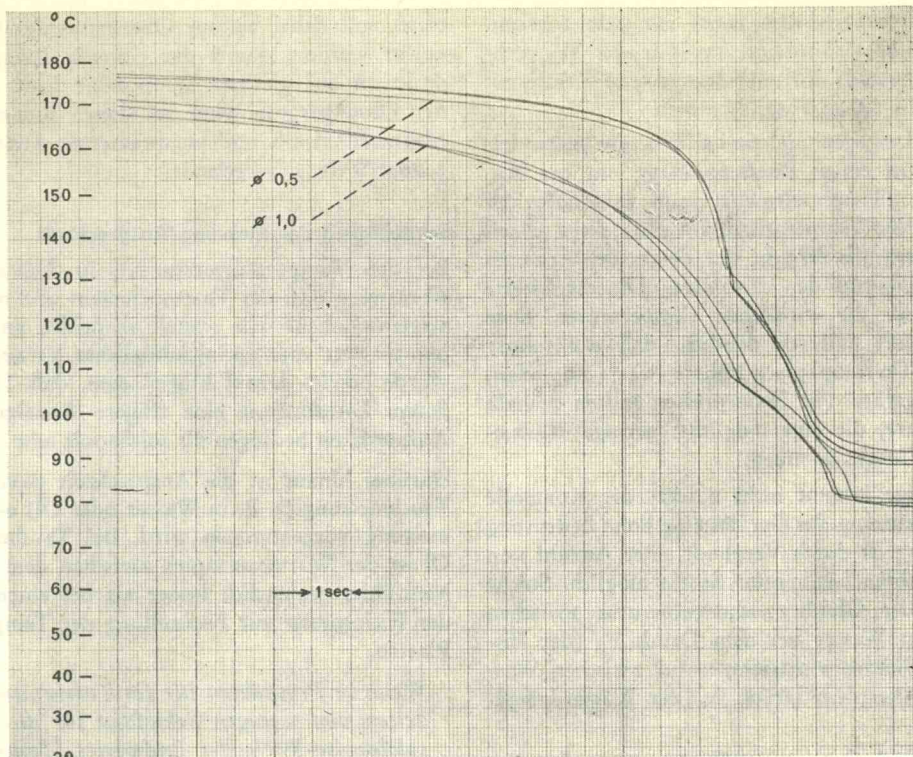


Abb. 9
 Temperaturmessungen „zwischen den Platten“ einer Fixierpresse
 (Thermoelemente mit Manteldurchmessern 0,5 und 1,0 mm)

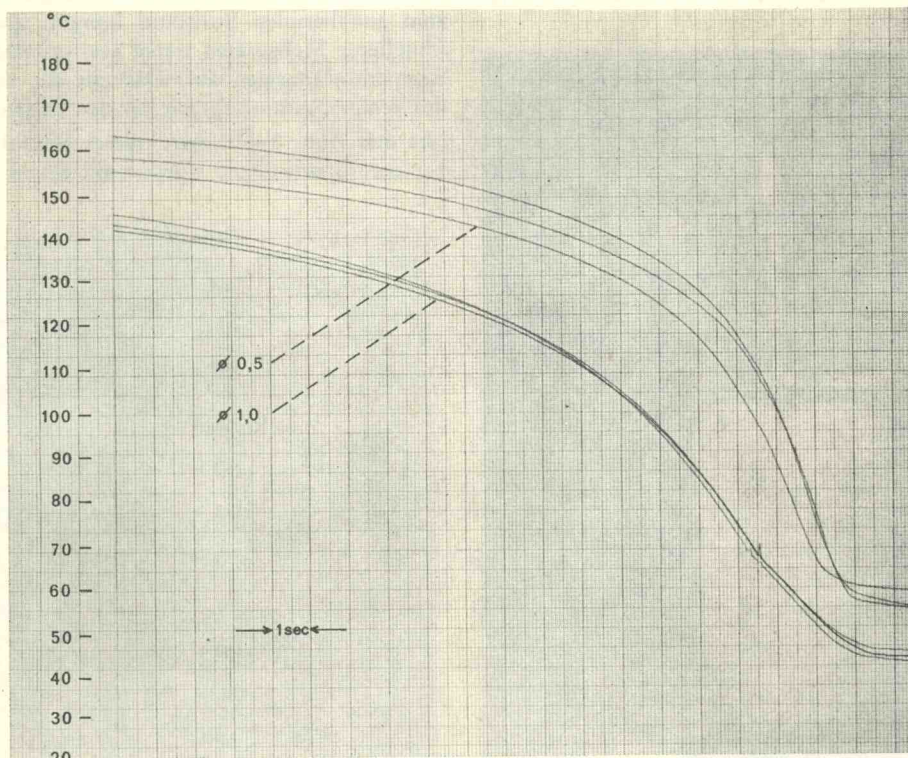


Abb. 10
 Temperaturmessungen „in der Fixierfuge“
 (Thermoelemente NiCr-Ni mit Manteldurchmessern 0,5 und 1,0 mm)
 Fixiereinlage: Gewicht ca. 170 g/m²
 Oberstoff: Gewicht 380 g/m² (Kammgarn, reine Wolle)

ber durchgeführt, der eine außerordentlich kurze Ansprechzeit von nur 0,25 sec für den Schreibervollausschlag hat. Sein Zeiteinfluß kann deshalb bei den nachstehenden Schlußfolgerungen außer Betracht gelassen werden. Es wurden Temperaturfühler NiCr-Ni mit Manteldurchmessern von 0,5 und 1,0 mm einge-

setzt. Das entspricht etwa 0,1 und 0,2 mm Aderndurchmesser der Thermopaare.

Die Temperaturkurven in Abb. 8 zeigen den Temperaturanstieg bei Tauchmessungen in heißem Öl. Hier stimmen die ausgewiesenen Endtemperaturen praktisch überein. Der Unter-

schied in der Ansprechzeit wird sichtbar, ist jedoch nach 3 sec Meßdauer ohne Bedeutung.

Abb. 9 zeigt Messungen mit der gleichen Geräteanordnung zwischen den Platten einer Fixierpresse. Die Temperaturkurven unterscheiden sich für die beiden Fühler beträchtlich. Der in den ersten 2½ sec deutlich werdende flachere Anstieg des Temperaturverlaufs ist mit dem Druckaufbau der Fixierpresse identisch.

Abb. 10 zeigt Messungen in der gleichen Fixierpresse. Es handelt sich um den Temperaturanstieg in der Fixierfuge. 3 Wollkammgarn-Oberstoffe im Gewicht von etwa 380 g/m² sind jeweils mit ihren Fixiereinlagen neu in die Presse eingelegt worden. Im Diagramm ist wiederum der systematische Unterschied zwischen den in der Dicke verschiedenen Thermopaaren erkennbar. Ferner sieht man bei beiden Thermopaaren eine gewisse Streuung der Meßwerte, die für die Messung in Fixierpressen charakteristisch ist.

Bedeutung für die Praxis

Die Notwendigkeit, einheitliche Voraussetzungen für eine schnelle und exakte Temperaturmessung in Fixierpressen zu schaffen, hat vor einiger Zeit die Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie e. V. veranlaßt, in Zusammenarbeit mit der Firma Philips eine geeignete Geräteanordnung aufzubauen. Sie ist unter der Bezeichnung „Aachener Aufbau“ bekanntgeworden und hat, nachdem die Brauchbarkeit erwiesen war, bereits Maßstäbe für die Praxis gesetzt. Auch beim „Aachener Aufbau“ ist man davon ausgegangen, mit möglichst dünnen Temperaturfühlern kurze Ansprechzeiten und auch unveränderte Druckverhältnisse im Meßmedium (Oberstoff und Einlage) zu erreichen. Zum Zwecke einer leistungslosen und vom Widerstand der Thermopaare unabhängigen Messung ist ein hochohmiger Meßverstärker in Verbindung mit einer Vergleichsstellenkompensation einem Millivolt-Meter vorgeschaltet worden. Die Meßwerte waren in mV abzulesen; aus einem Diagramm im Prinzip der Abb. 6 konnten die zugehörigen °C-Werte entnommen werden.

Vor Bekanntwerden des „Aachener Aufbaus“ war die Lage auf dem Markt so, daß alle für ein Idealmeßgerät genannten Forderungen von keinem anzeigenden Meßgerät erfüllt wurden. Nur einige angebotene Kompensationsschreiber waren für diese Zwecke geeignet. Das ideale Meßgerät für die Messung der Temperatur in Fixierpressen sollte nämlich zugleich im Meßbereich möglichst gut den Temperaturen der Fixierpressen angepaßt sein. Das bedeutet, daß etwa 0°C bis 180°C auf einer genügend gespreizten °C-Skala ablesbar sind.

In dieser Situation entstand in Zusammenarbeit der Firmen Knick, Siemens und Bielefelder Webereien AG die im folgenden als „Bielefelder Aufbau“ bezeichnete Meßeinrichtung. Einem im Markt bekannten Thermospannungsmesser der Firma Knick wurde eine Vergleichsstellenkompensation zugeordnet. Diese ist auf eine Kompensation von 20°C an der Vergleichsstelle ausgelegt. Demgemäß werden beim „Bielefelder Aufbau“ zu dem direkt abgelesenen Temperaturwert stets 20°C addiert. Eine Skalenumzeichnung wäre möglich gewesen, hätte aber andere, hier nicht beschriebene Einsatzmöglichkeiten des Gerätes beschnitten. Der für die Messung in Fixierpressen geeignetste Meßbereich geht bei dem Thermospannungsmesser der Firma Knick bis 170°C. Durch die Addition von 20°C verschiebt sich also der nutzbare Meßbereich auf 20–190°C. Die Länge des Skalensbogens beträgt 17 cm. Das entspricht einer Skalenteilung für diesen Bereich von 1°C. Die Klassengenauigkeit des Gerätes beträgt 0,5. Darüber hinaus ist der „Bielefelder Aufbau“ mit einem Präzisionspotentiometer ausgestattet, welches die Anpassung eines beliebigen Thermopaars, z. B. Fe-Konst oder NiCr-Ni, gestattet (Abb. 11).

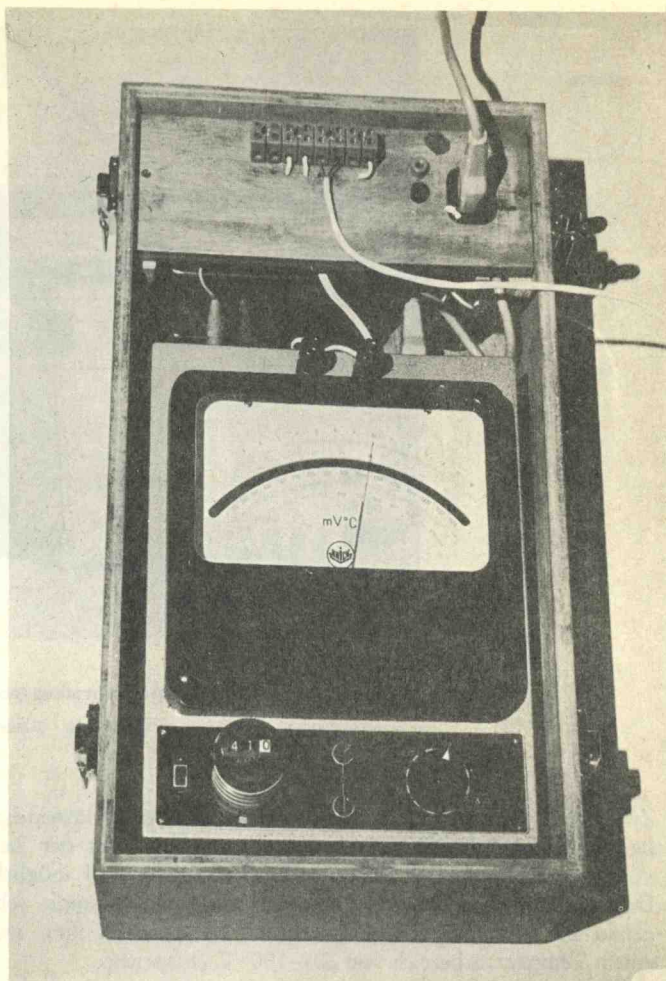


Abb. 11
Temperaturmeßeinrichtung „Bielefelder Aufbau“

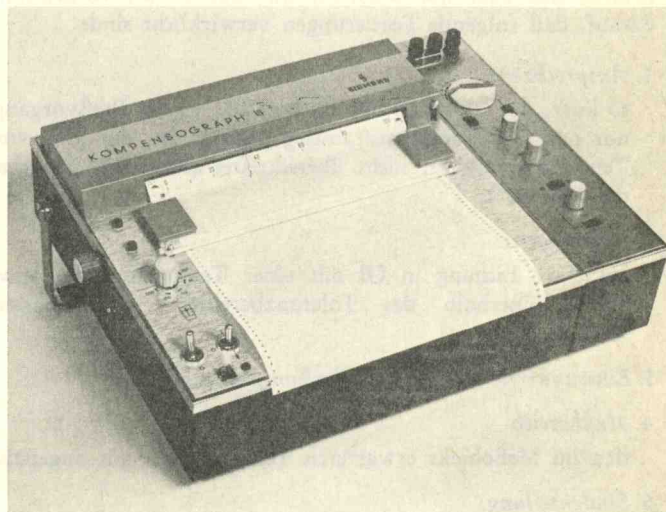


Abb. 12
Kompensograph III (Werkfoto Siemens)

Für genaue Untersuchungen des zeitlichen Temperaturanstiegs in der Fixierpresse, für Grundsatzuntersuchungen, aber auch für Messungen in Betrieben der Bekleidungsindustrie steht ein Schreiber von der Firma Siemens (Bezeichnung: „Kompensograph III“) zur Verfügung (Bild 12). Er kann dem „Bielefelder Aufbau“ wahlweise parallel geschaltet (Bild 13) oder als unabhängige Meßeinheit eingesetzt werden. Der Papiervorschub ist bei dem Schreiber so angelegt, daß 1 cm Diagrammpapier einer

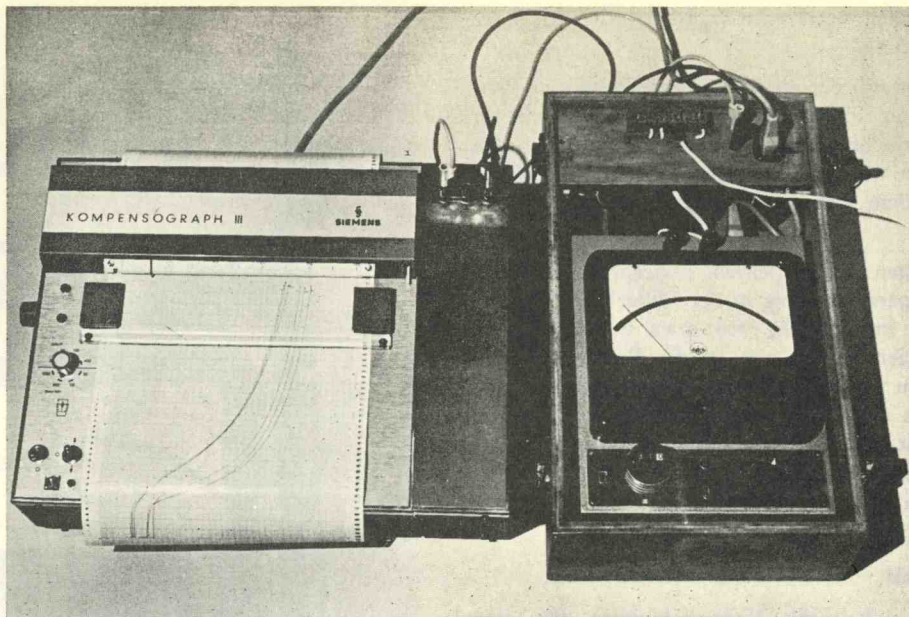


Abb. 13
Gleichzeitiger Einsatz eines schreibenden und eines anzeigenden Temperaturmeßgerätes
(Werkfoto Bielefelder Webereien AG)

Zeit von 1 sec entsprechen kann. Bei maximaler Geschwindigkeitseinstellung des Papiers entsprechen sogar 2 cm der Zeit von 1 sec; langsamere Papiergeschwindigkeiten sind möglich. Der zeitliche Verlauf des Temperaturanstiegs ist somit sehr genau zu verfolgen. Die Papierbreite beträgt 200 mm, was einem Temperaturbereich von 20—190° C entspricht.

Für exakte Temperaturmessungen an Fixierpressen und Bügelmaschinen kann die mit dem „Bielefelder Aufbau“ verwirklichte Meßeinrichtung empfohlen werden. Diese Empfehlung bezieht sich aber nur sekundär auf das Gerät, vornehmlich darauf, daß folgende Forderungen verwirklicht sind:

1. *Ansprechzeit:*

so kurz, daß zwischen der 10. und 20. sec des Preßvorgangs nur noch ein Temperaturanstieg gegeben ist, der 3 % vom Temperaturendwert nicht überschreitet (Messung „zwischen den Platten“).

2. *Genauigkeit:*

bei einer Eichung in Öl mit einer Temperatur von etwa 150° C innerhalb des Toleranzbereiches von höchstens $\pm 2^\circ \text{C}$.

3. *Einwandfreie Vergleichsstellenkompensation*

4. *Meßbereich*

den im Meßobjekt erwarteten Temperaturen gut angepaßt.

5. *Skalenteilung:*

möglichst 1°C , mindestens 2°C .

Die Temperaturkontrolle einer Fixierpresse kann in ausreichender Weise mit anzeigenden Geräten durchgeführt werden. Der Einsatz von schreibenden Temperaturmeßgeräten (Kompensationsschreibern), die einen wesentlich höheren finanziellen Aufwand erfordern, kann Grundsatzuntersuchungen in interessierten Firmen und Instituten vorbehalten bleiben. Daß bei der Auswahl von Temperaturmeßgeräten weiterhin Handlichkeit und Preis eine wichtige Rolle spielen, sei der Vollständigkeit halber erwähnt.

Die besondere Herausstellung des „Bielefelder Aufbaus“ erscheint dem Verfasser aus folgenden Gründen gerechtfertigt:

1. Die Gerätebeschreibung und die Ausführungen über Grundsatzfragen der Temperaturmessung sind für die Darstellung der Untersuchungsergebnisse in der Fortsetzung (Teil II) von Wichtigkeit.

2. Die beschriebenen Meßgeräte gehören zur Ausstattung der Anwendungsberater der Firma und werden bereits regelmäßig mit Erfolg in der Bekleidungsindustrie eingesetzt.

Auf eine namentliche Nennung weiterer Geräte bzw. Hersteller muß an dieser Stelle verzichtet werden. Weitere detaillierte Beschreibungen würden den Rahmen dieser Arbeit sprengen oder aber bei kürzerer Fassung für und Wider nicht deutlich genug herausstellen.

Es wäre die beste Lösung, wenn ein Kreis interessierter Firmen und Institute die Mindestanforderungen an Geräte und Prüfbedingungen festlegt. Bei solchem Vorgehen würden die Erfahrungen anderer Firmen zusätzlich mitberücksichtigt. Für die Federführung bei dieser Festlegung wird die Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie e. V. vorgeschlagen.

Bei der vorgeschlagenen Aussprache über Temperaturmeßmethoden sollten die Anwendungsmöglichkeiten der Thermopapiere ebenfalls eingehend diskutiert werden. Vergleichsuntersuchungen mit dem „Bielefelder Aufbau“ zeigten eine gute Übereinstimmung der Werte, besonders dann, wenn sich das Meßobjekt (Fixierpresse) praktisch im thermischen Gleichgewicht befindet.

Literatur:

E. Schmidt
Thermodynamik, Springer-Verlag, 5. Auflage (1953)
Siemens & Halske AG
Taschenbuch für Messen und Regeln in der Wärme- und Chemietechnik, 4. Auflage (1962)
Philips Industrie-Elektronik GmbH
Temperaturmessungen mit Philips Miniatur-Mantel-Thermoelementen Thermocoax
Hartmann & Braun AG
Elektrische und wärmetechnische Messungen, 9. Auflage (1959)

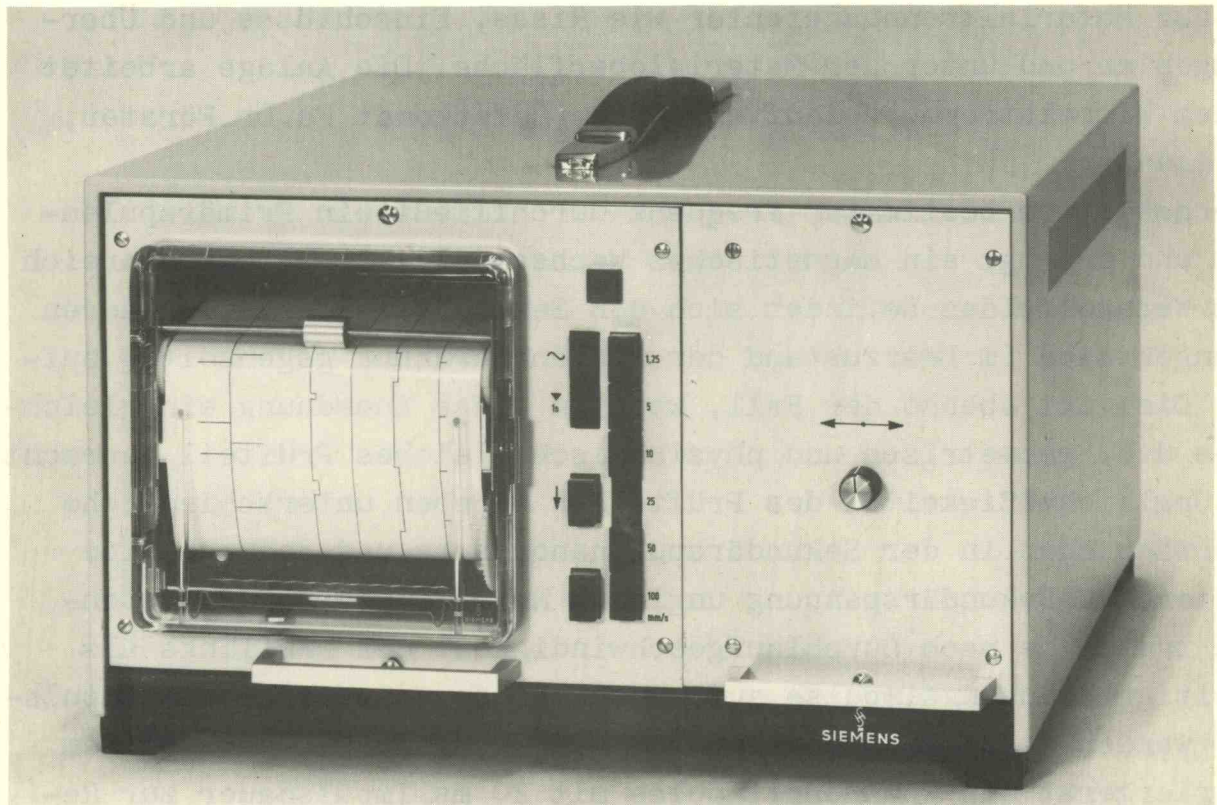
Anwendungstechnik
OSCILLOREG M 02022

SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT

Oktober 1969 E 616 Rg/

Bereich
Meß-
und Prozeßtechnik

Meßtechnik



Besondere Merkmale

Tragbarer Wachspapiersreiber
1-, 2- oder 3-kanalige Ausführung
geeignet zum Einbau in 19"-Schränke
großer Papiergeschwindigkeitsbereich
hohe Eingangsempfindlichkeit 30 mV bis 300 V
breites Frequenzband 0 bis 60 Hz 0dB
Schreibbreite 30 mm
steckbare Vorverstärker

Einsatz des OSCILLOREG M 02022 in Anlagen
zur zerstörungsfreien Materialprüfung

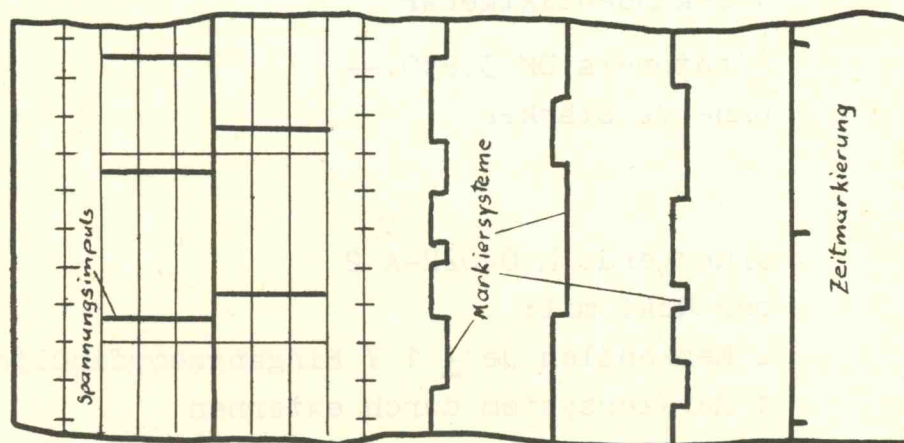
Die Anlage dient zur teil- oder vollautomatischen zerstörungsfreien Materialprüfung von Drähten, Stangen und Rohren. Die Prüfung erfolgt auf Materialtrennungsfehler wie Risse, Einschlüsse und Überwalmungen an und unter der Materialoberfläche. Die Anlage arbeitet nach dem Wirbelstromdurchlaufverfahren. (Defectomat Fa. Dr. Förster, Reutlingen)

Ein Wechselstrom bestimmter Frequenz durchfließt ein Primärspulensystem und erzeugt ein magnetisches Wechselfeld. Im Wirkungsbereich dieses Wechselfeldes befindet sich ein Sekundärspulensystem, deren Spannungen sich im Leerzustand der Spulenanordnung gegenseitig aufheben. Dies ist ebenso der Fall, wenn in diese Anordnung ein gleichmäßiges d.h. geometrisch und physikalisch gleiches Prüfteil gebracht wird. Ungleichmäßigkeiten des Prüfteiles ergeben unterschiedliche Feldschwächungen in der Sekundärspulenanordnung und dadurch eine resultierende Sekundärspannung ungleich Null. Diese Sekundärspannungen treten je nach Durchlaufgeschwindigkeit des Prüflings als kurzzeitige Spannungsimpulse auf. Durch einen entsprechenden Impulsdehner werden diese Spannungsimpulse auf 20 ms ausgedehnt und dem Registriergerät als Spannungsimpulse mit 20 ms Impulsdauer zur Registrierung angeboten.

Durch Nachschalten entsprechender Baugruppen lassen sich diese Materialfehler auf eine beliebig einstellbare Fehlerschwelle einstellen. Das Überschreiten dieses Fehlergrenzwertes wird durch ein im Gerät eingesetztes Markiersystem registriert. Durch ein zweites Markiersystem wird das Betätigen der zur Fehlermarkierungen eingesetzten Farbsprühdüsen registriert. Ein drittes Markiersystem wird zur Zählung der durchgelaufenen Prüflinge pro Schicht eingesetzt. Über einen im Gerät eingesetzten Sekundärtaktgeber ist auf dem abgelaufenen Diagrammstreifen ein zeitlicher Bezug zur Papiergeschwindigkeit gegeben.

Die Geschwindigkeit am Registriergerät muß in der Praxis so gewählt werden, daß eine Diagrammrolle pro Schicht als Diagramm vorhanden ist.

Anhand dieses abgelaufenen Diagrammstreifens ist somit eine eindeutige Aussage über die Qualität der in der Schicht gefertigten Prüflinge gegeben.



Für diesen Anwendungsfall wurde das Gerät auf dem Titelbild entwickelt. Mit wenigen Varianten wurden Bausteine - wie Registriereinschub und Elektronik - für die später listenmäßig zur Verfügung stehenden tragbaren bzw. Einbaugeräte entwickelt. In den nachstehenden Angaben ist der Aufbau dieser Geräte beschrieben.

Aufbau

Tragbares Tischgehäuse $3/4$ 19" breit, 4 Einheiten hoch.

Registrierteil als $1/2$ 19"-Einschub in genanntes Tischgehäuse oder 19"-Rahmeneinschübe für Schrankeinbau einsteckbar.

Vorverstärker je Meßkanal als $1/12$ 19"-Einschübe steckbar im Tischgehäuse oder 19"-Rahmeneinschübe angeordnet.

Umschaltung der Papiervorschübe durch Drucktasten auf der Frontseite des Registrierteiles.

Technische Ausführung

Grundgerät M 02022-A 1

bestückt mit:

1 Meßkanal \pm 1 V Eingangsempfindlichkeit

3 Markiersysteme durch externen
Schließkontakt ansteuerbar

1 Sekundentaktgeber

Richtpreis DM 3.850,--

ohne Verstärker

Grundgerät M 02022-A 2

bestückt mit:

2 Meßkanälen je \pm 1 V Eingangsempfindlichkeit

1 Markiersystem durch externen
Schließkontakt ansteuerbar

1 Sekundentaktgeber

Richtpreis DM 4.050,--

ohne Verstärker

Grundgerät M 02022-A 3

bestückt mit:

3 Meßkanälen je \pm 1 V Eingangsempfindlichkeit

Richtpreis DM 4.250,--

ohne Verstärker

Richtpreis je 1/12 19"-Verstärkereinschub

(siehe technische Daten)

DM 850,--

Technische Daten

Eingang:	volltransistorierter symmetrischer Differenzverstärker
Eingangsempfindlichkeit bei direkter Anpassung an das Grundgerät:	± 1 V
Eingangswiderstand:	10 kOhm
Eingangsempfindlichkeit bei Anpassung über steck- baren Vorverstärker je Kanal:	$\pm 15/\pm 50/\pm 150$ mV $\pm 0,5/\pm 1,5/\pm 5/\pm 15/\pm 50/\pm 150$ V
Eingangswiderstand:	2 x 1 MOhm
Gleichtaktunterdrückung:	≥ 70 dB
Amplitudenfrequenzgang für Frequenzbereich 0 bis 60 Hz:	innerhalb + 5 % bis - 10 % bezogen auf Meßwerkausschlag bei 10 Hz
3 dB-Grenze:	70 Hz
Schreibbreite:	± 15 mm
Nullpunktverschiebung:	± 15 mm
Papiergeschwindigkeiten:	1,25/5/10/25/50/100 mm/s
Durch nachträglichen Ein- bau eines Vorgelegtes:	<u>Vorschübe</u> bzw. <u>Vorschübe</u> 2 10
Registrierart:	Thermoschrift auf Hartschicht- Registrierpapier
Einschübe:	1) Adaptoreinschub für direkte Anpassung an das Grundgerät ± 1 V. 2) Steckbarer Vorverstärker Eingangsempfindlichkeit ± 15 mV bis ± 150 V, siehe oben. 3) Steckbarer Festbereicheinschub für einen Meßbereich zwischen ± 15 mV und ± 150 V, siehe oben.

Messung hoher Spannungen auf hohen
Potentialen mit dem OSCILLOMINK

Elektrische Regelschaltungen mit Thyristoren werden heute vielfach im Bereich der Starkstromtechnik eingesetzt. Für die Entwicklung und die Prüfung solcher Einrichtungen sind zur Erfassung der Meßsignale (Signale auf hohem Potential und steile Steuerimpulse) Registriergeräte mit hoher Leistungsfähigkeit, hoher Frequenz und hoher Schreibgeschwindigkeit erforderlich. Dieser Aufgabenbereich läßt sich nur mit Lichtstrahl-Oszillographen und Elektronenstrahl-Oszillographen erfassen.

Bei der Montage und bei Service-Aufgaben solcher Anlagen sind solche hohe Anforderungen nicht vorhanden. Die Verwendung von Lichtstrahl-Oszillographen für diese Aufgaben wird wegen des lichtempfindlichen und teuren Papiers weniger geschätzt.

Bei der Inbetriebnahme und bei Service-Aufgaben der beschriebenen Anlagen werden im allgemeinen die Höhe der Spannung an verschiedenen Punkten der Schaltung sowie der Verlauf der elektrischen Signale bei den verschiedenen Betriebszuständen (Leerlauf, Vollast usw.) ermittelt. Diese Probleme kann der OSCILLOMINK ohne Schwierigkeiten erfassen und bietet die bekannten Vorteile

der echten Direktschrift,
des billigen Registrierpapiers
und der bequemen Bedienung durch
Einsatz von Verstärkern.

Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des OSCILLOMINK zur Lösung solcher Meßaufgaben ist die Beherrschung der auftretenden Gleichtaktsignale durch geeignete Differenzverstärker. Die OSCILLOMINK-Meßwerke, die praktisch potentialfrei betrieben

werden könnten und auch gute Gleichtaktunterdrückung bieten würden, können wegen der vorhandenen Induktivität und der damit verbundenen Probleme nicht ohne Verstärker eingesetzt werden.

Die Güte der Gleichtaktunterdrückung wird vom Gleichtaktunterdrückungsfaktor, der Gleichtaktspannung und dem Meßbereich des Differenzverstärkers beeinflusst.

Der Gleichtaktunterdrückungsfaktor ist:

$$\text{CMR} = \frac{U_{gl} \cdot A_{ge}}{U_{ge} \cdot A_{gl}} \quad 1.$$

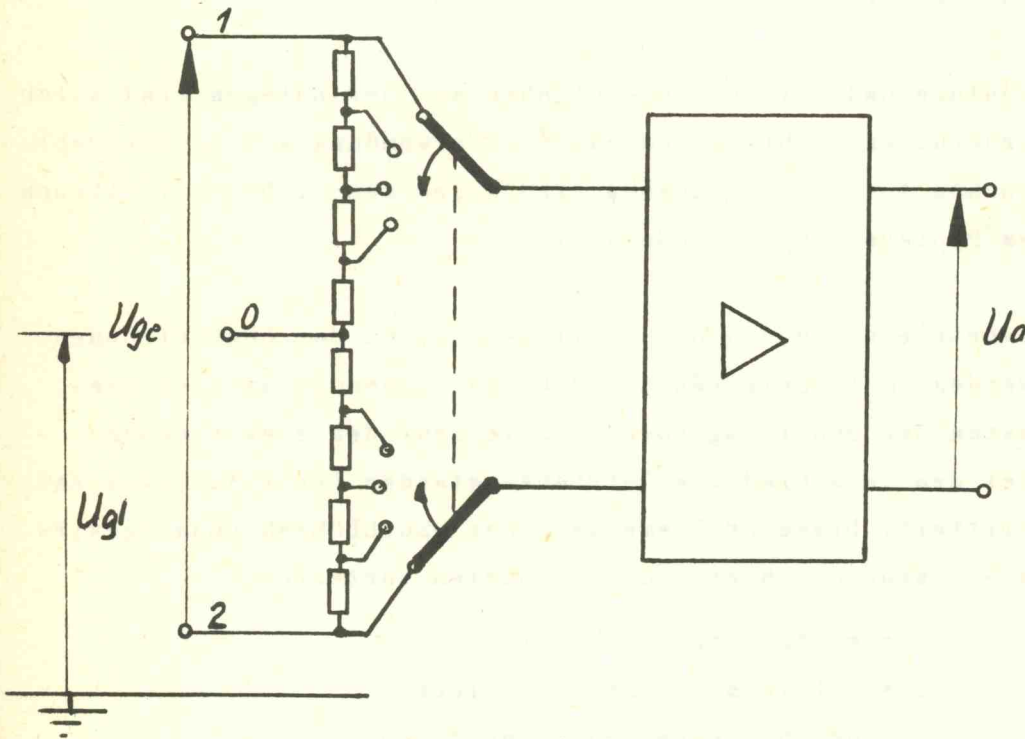


Bild 1 Schema der Meßanordnung zur Messung der Gleichtaktunterbrechung

Aus Formel 1 ist zu ersehen, daß der Gleichtaktunterdrückungsfaktor mit steigender Meßspannung U_{ge} , was einem steigenden Meßbereich gleich kommt, kleiner wird. Die in Formel 1 dargestellte Verkleinerung des CMR - Faktors entspricht dem theoretischen Wert,

der praktisch erreichte Wert liegt aus Gründen der nichterreichen Gleichmäßigkeit der verwendeten Bauteile niedriger. Trägt man die Störampplitude, hervorgerufen durch die Einflüsse der Gleichtaktspannung, über dem Meßbereich auf, dann erhält man einen Verlauf wie in Bild 2 dargestellt.

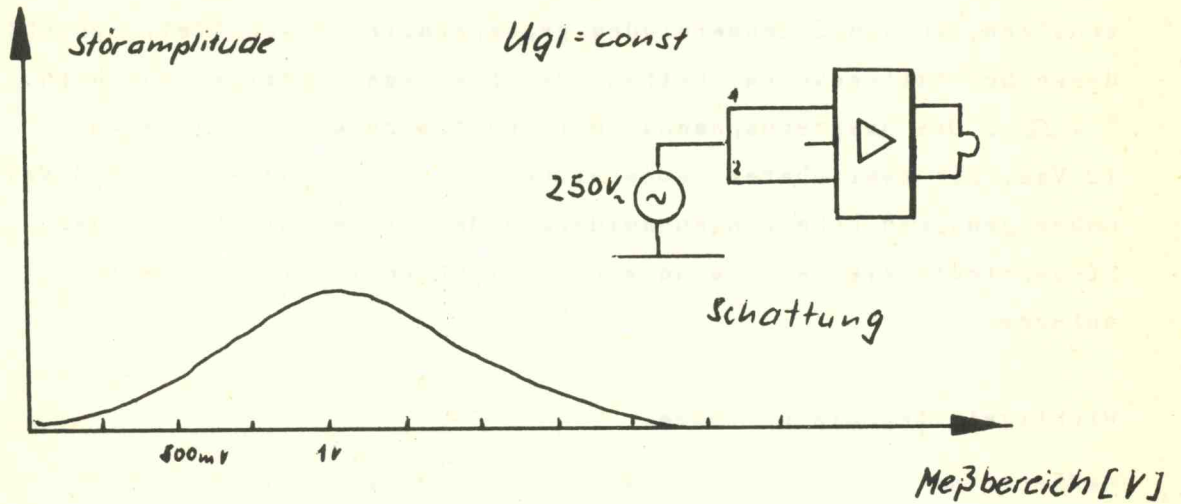


Bild 2

Bei den eingangs erwähnten Meßgeräten liegen jedoch die zu erfassenden Meßspannungen gerade im V - Bereich, in dem die Störampplitude ihr Maximum erreicht. Es mußte deshalb versucht werden durch einen Spezialverstärker diese Aufgaben zu beherrschen. In Bild 3 ist das Schaltbild dieses Verstärkers dargestellt. Die max. auftretende Störampplitude über sämtliche Meßbereiche beträgt etwa 1,5 % , gerechnet von der Vollaussteuerung und einem Potential von 220 V.

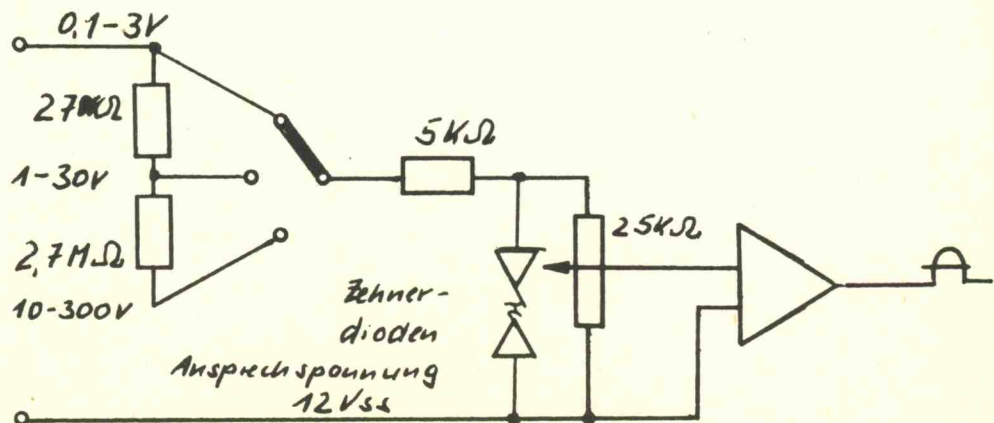


Bild 3 Schaltung des Spezialverstärkers

Der Bereich 0,1 - 3 V ist für Messungen an Shunts gedacht, da für diese Aufgaben der verhältnismäßig geringe Eingangswiderstand von etwa $30\text{ k}\Omega$ keine wesentliche Rolle spielt. Um die Eingangsschaltung des Verstärkers vor elektrischer Überlastung zu schützen, wurden 2 Zehnerdioden gegenparallel geschaltet. Spricht diese Schutzstrecke an, beträgt der Eingangswiderstand nur noch $5\text{ k}\Omega$. Die Ansprechspannung der Schutzstrecke beträgt etwa 12 Vss. Die zwei oberen Meßbereiche 1 V - 30 V und 10 V - 300 Veff haben genügend hohe Eingangswiderstände für Meßaufgaben an der Steuerelektronik der eingangs beschriebenen Thyristorschaltanlagen.

Wichtigste technische Daten:

Meßbereiche	0,1 - 3 V	/	1 V - 30 V	/	10 V - 300 V
Eingangswiderstand	30 k Ω		300 k Ω		3 M Ω
CMR-Faktor			mind. 80 db	/	mind. 60 db
Frequenzbereich	0 - 1.000 Hz				



Bild 4

Bremsen 30 km/h

Vorderer Querlenker unten

1 cm \cong ξ 1.000 \cong ζ 2.000 kp/cm²

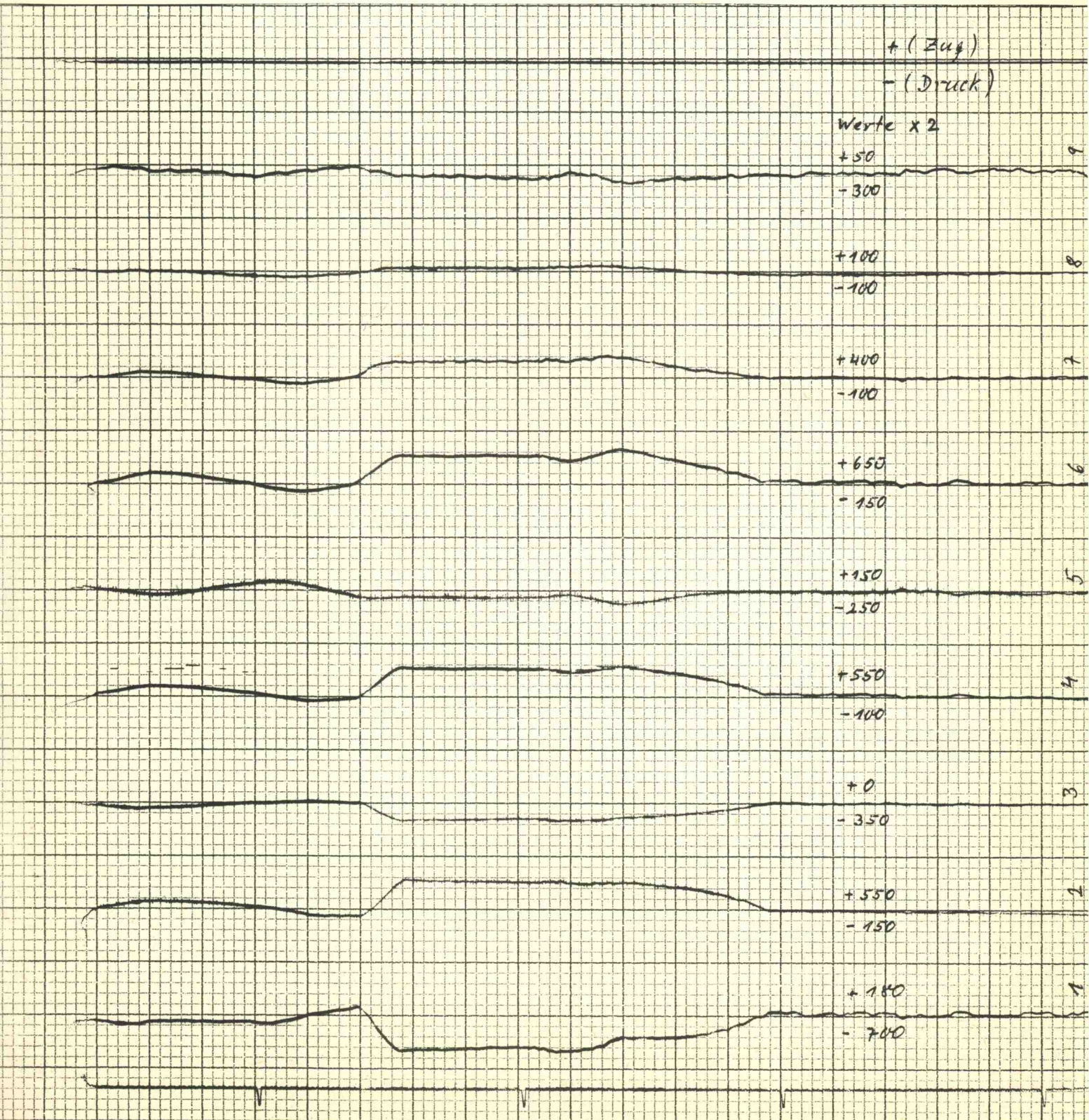


Bild 5

Schlechte Straße

Querlenker oben vorn

1 cm $\hat{=}$ Σ 1.000 $\hat{=}$ \odot 2.000 kp/cm²

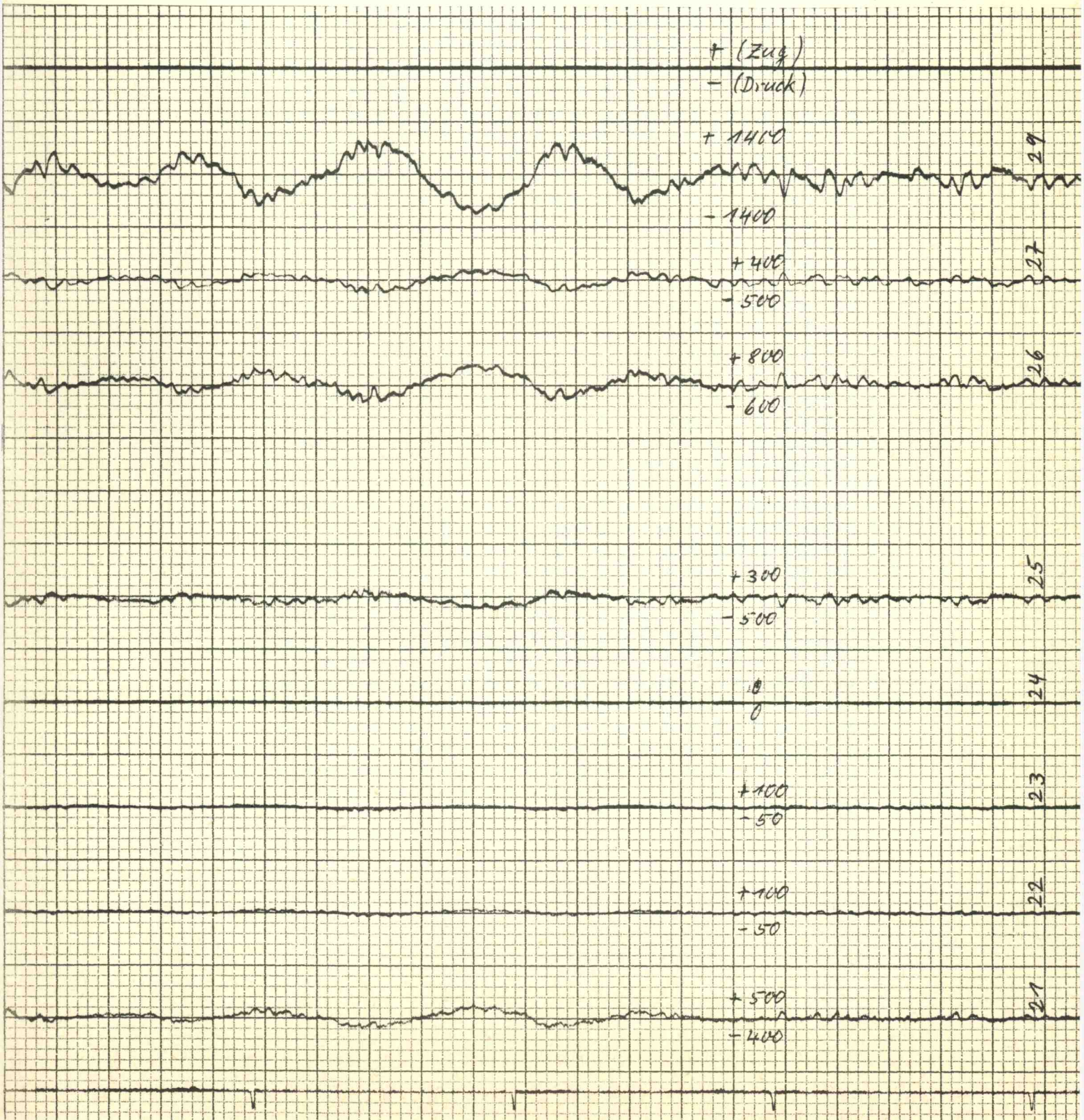
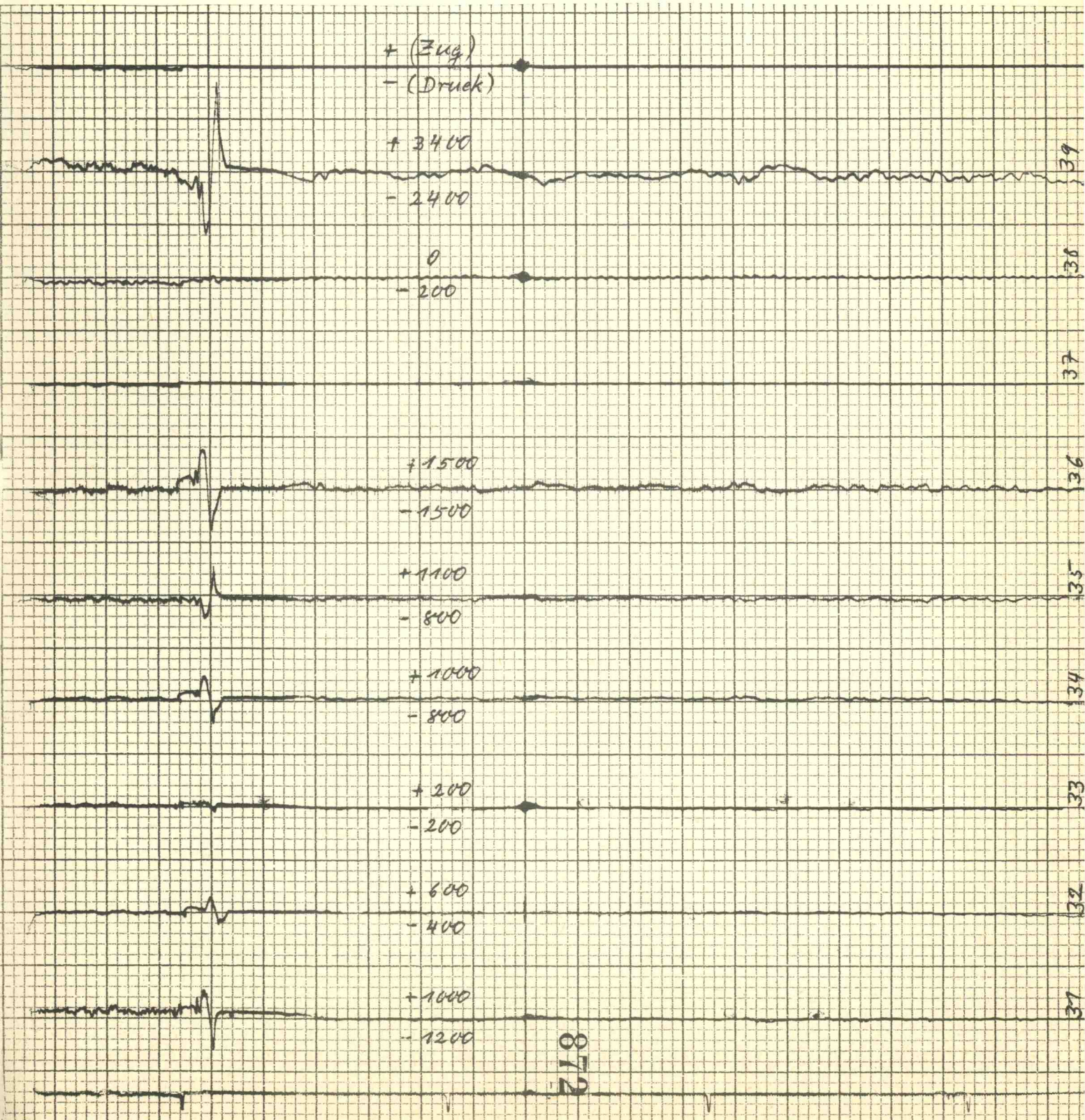


Bild 6

Hindernis 50 km/h

Hinterer Querlenker oben

1 cm $\hat{=}$ ε 1.000 $\hat{=}$ σ 2.000 kp/cm²



Mechanische Spannungsmessung
an Kraftfahrzeugen mit dem Oscillomink

Die vielen Anforderungen, denen heute Kraftfahrzeuge gewachsen sein müssen, machen es notwendig, daß neben der mechanischen Festigkeit hochbelasteter Bauteile auch die Wartungsmöglichkeit beachtet werden muß. Besonders die stark beanspruchten Teile des Fahrgestells, die sehr rauen Umweltsbedingungen ausgesetzt sind, müssen laufend auf Funktionstüchtigkeit, Korrosionszustand und mechanische Beschädigungen untersucht werden können. Konstruktive Lösungen, die diesen Forderungen nicht angepaßt sind, müssen in entsprechender Form geändert werden.

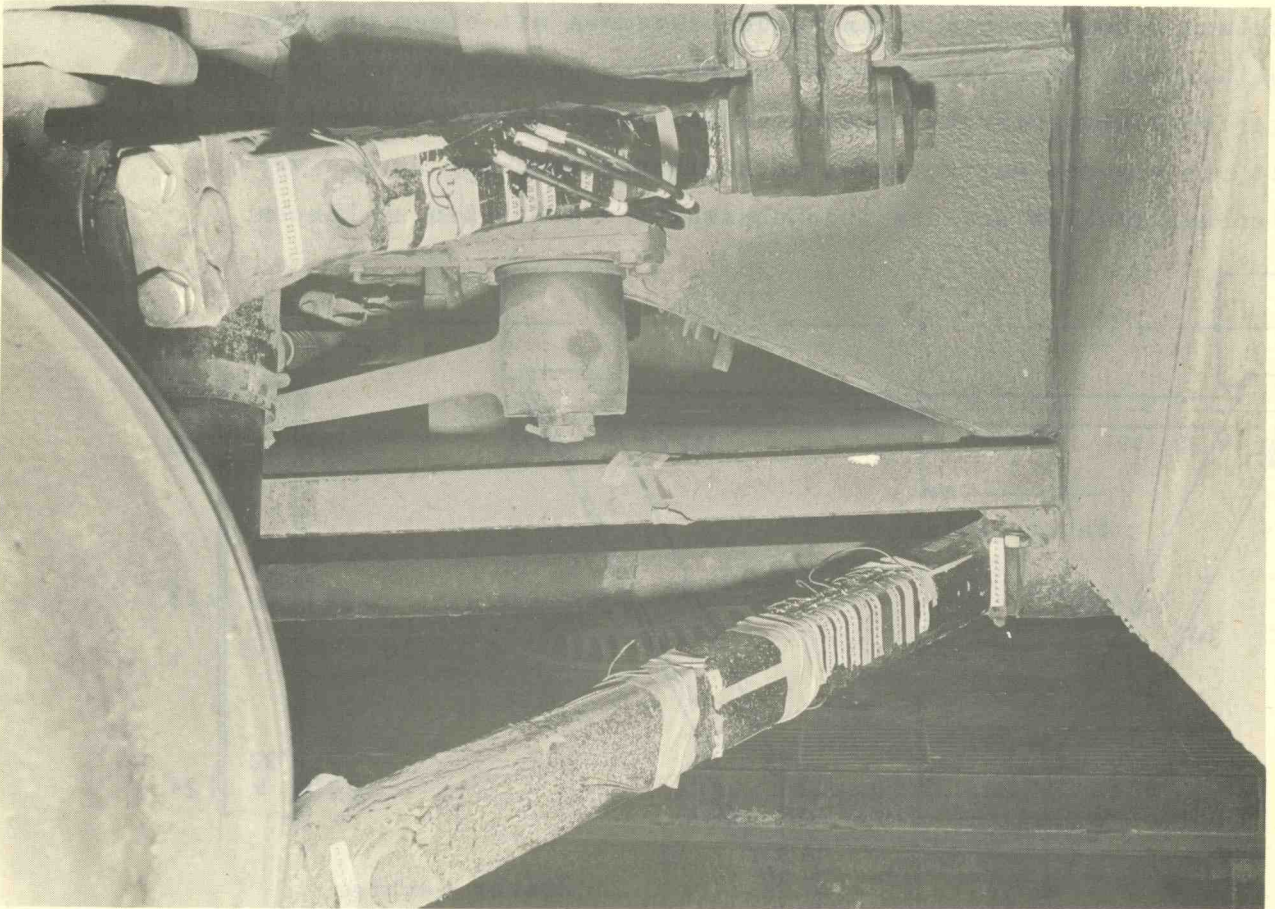


Bild 1

Vorderachse mit Querlenkern eines Kraftfahrzeuges

Die Vorderachse eines ausgeführten Reisebusses war aus Vierkantrohren gefertigt. Damit bestand die Gefahr, daß durch Kondenswasser im Innern der Rohre Korrosion auftrat, die bei Wartung und Inspektion des Fahrzeuges nicht zu erkennen war. Aus diesem Grunde mußte die Vorderachse geändert werden. Man wählte für die Querlenker, wie dies Bild 1 zeigt U-Profilschienen.

Nach der konstruktiven Änderung der Vorderachse mußte die mechanische Festigkeit der geänderten Teile unter praxisnahen Bedingungen untersucht werden. Die mechanische Festigkeit rechnerisch zu bestimmen schied aus, da die ungenaue Kenntnis der Randbedingungen zu große Fehler erwarten ließ.

Zur Untersuchung der Festigkeit wurden, wie auf dem Bild 2 dargestellt, die Querlenker mit Dehnungsmeßstreifen beklebt. Die einzelnen Dehnungsmeßstreifen wurden zusammen mit einem passiven (unbelasteten) Streifen zu einer Halbbrücke geschaltet und an einen Trägerfrequenzverstärker angeschlossen. Diese Schaltung wurde gewählt, um aus der auftretenden mechanischen Spannung an den verschiedenen Stellen auf den Spannungszustand schließen zu können.

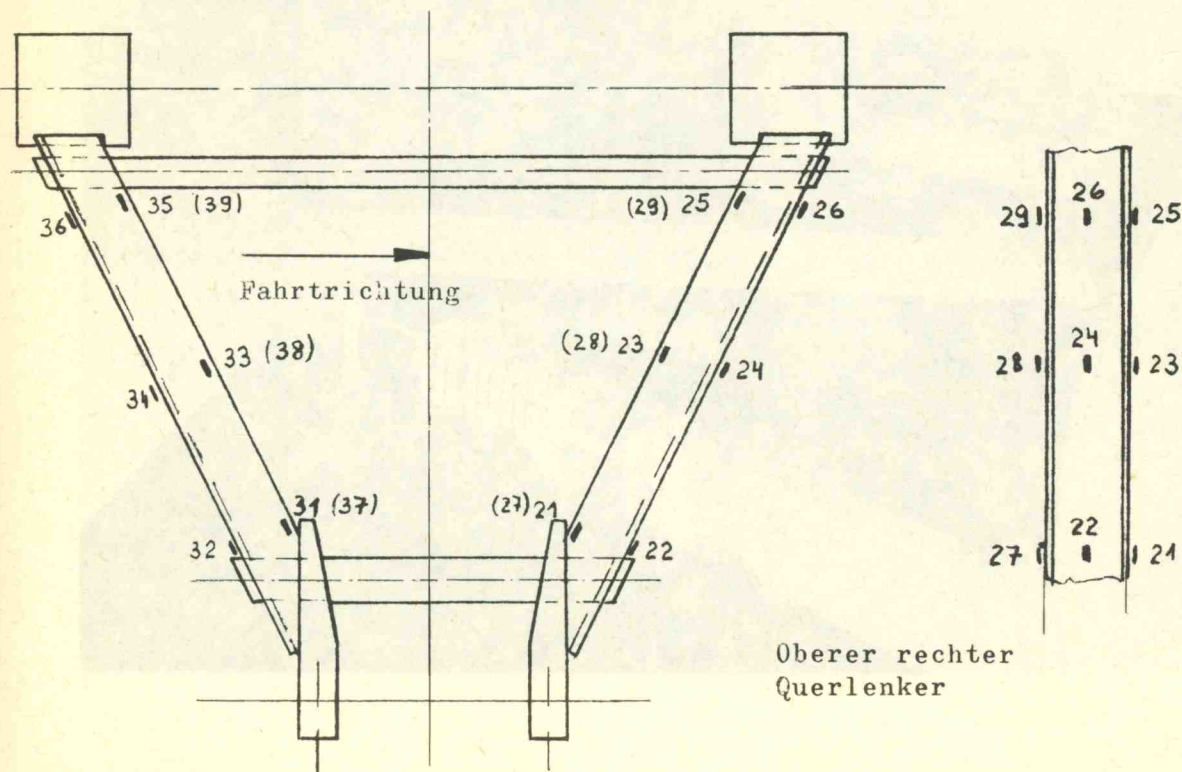


Bild 2

Würde man anstelle der TF-Brückenverstärker Gleichspannungsmeßbrücken mit nachgeschalteten 1mV - Verstärker verwenden, dann könnte man unter der Voraussetzung daß 1/4 Brücke verwendet und ca. 10 % des Messbereiches als kleinste meßbare Größe definiert würde noch folgende mechanische Spannung erfassen.

$$U_M = \frac{U_B}{4} \cdot k \cdot \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma = \frac{U_M \cdot 4 \cdot E}{U_B \cdot k}$$

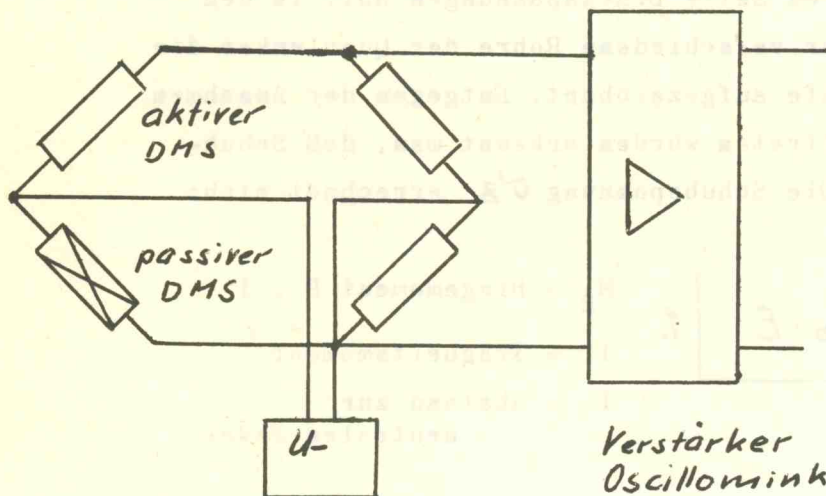
$$\sigma = \frac{100 \cdot 4 \cdot 2,1}{10 \cdot 2} = 42 \text{ kg/cm}^2$$

U_B = Batteriespannung

U_M = Meßspannung

σ = mech. Spannung

E = elastizitäts Modul



Dies ist ein sehr kleiner Wert. Mit sehr guten TF-Brückenverstärkern kommt man noch etwa eine Größenordnung weiter herunter. Die Erfassung solch kleiner mechanischer Spannungen ist erforderlich, wenn man von der Geometrie des Werkstückes keine Aussage über die Richtung der mechanischen Spannung machen kann. in solchen Fällen muß aus den Dehnungen in drei verschiedenen Richtungen und dem Mohrschen Spannungskreis die Größe und Richtung der mechanischen Hauptspannung ermittelt werden.

Je 9 Meßstellen wurden auf den Oscillomink geschaltet und ein

bekanntes Versuchsprogramm durchgeführt. Dazu gehörten Überfahren einer Bodenschwelle, Abbremsung des Fahrzeuges und überfahren einer schlechten Wegstrecke. Um möglichst praxisnahe Meßergebnisse zu erzielen, wurde der Bus mit der zulässigen Nutzlast beladen und unter diesen Bedingungen die obengenannten Versuche durchgeführt.

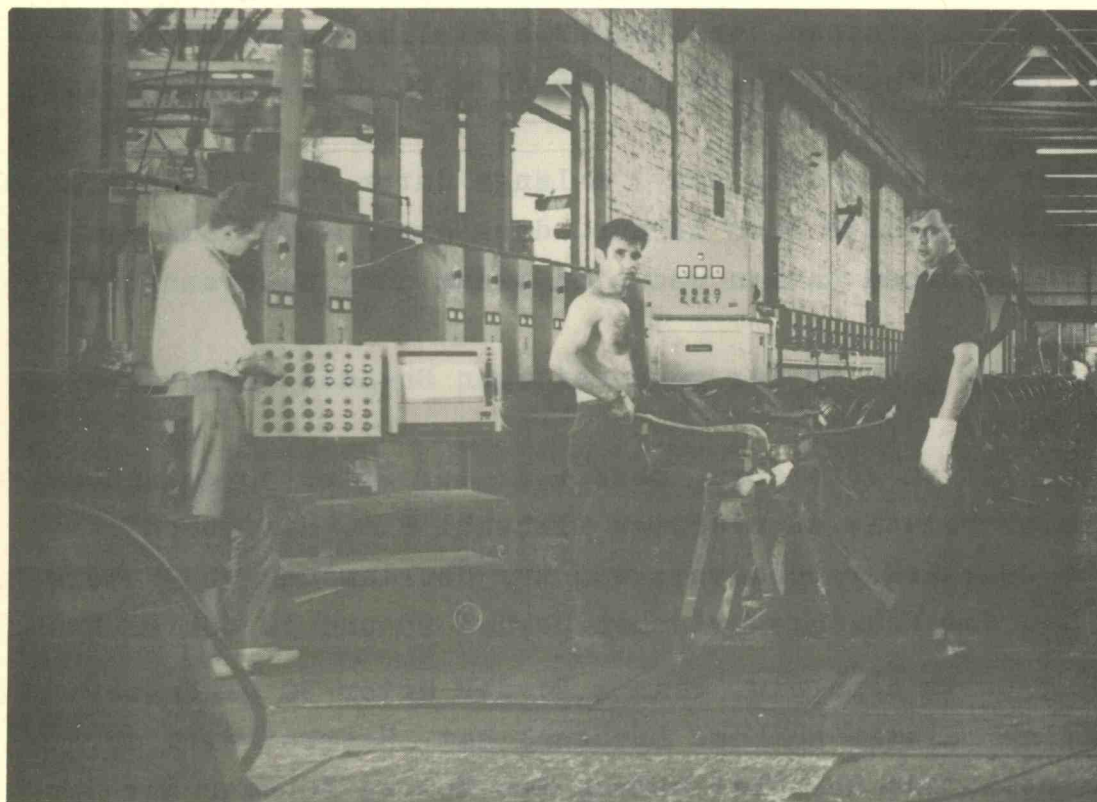
Der Aufbau der Querlenker läßt erwarten, daß in den einzelnen Rohren nur Normalspannungen auftreten. Bei Normalspannungen wirkt die Kraft in Achsrichtung der Rohre. Das bedeutet aber, daß alle Meßkanäle eines Rohres gleichzeitig in eine Richtung ausschlagen. Treten aber noch gleichzeitig Schubspannungen auf, d.h., es wirken auch Kräfte quer zur Achsrichtung der Rohre, dann zeigen nicht alle Meßkanäle eines Rohres gleiche Ausschlagsrichtung. Beim symmetrischen Schubspannungsverhältnis treten auf einer Seite des Rohres Zugspannungen und auf der anderen Seite Druckspannungen auf. In den Oszillogrammen 4 - 6 sind für verschiedene Rohre der Querlenker die mechanischen Spannungsverläufe aufgezeichnet. Entgegen der Annahmen daß nur Normalspannungen auftreten würden erkennt man, daß Schubspannungen vorhanden sind. Die Schubspannung σ_B errechnet sich:

$$\boxed{\sigma_B = \frac{M_B \cdot l}{J} = \epsilon_b \cdot E} \quad 1.$$

M_B = Biegemoment $P \cdot l$
 J = Trägheitsmoment
 l = Abstand zur neutralen Faser

Zur Beurteilung der Festigkeit der einzelnen Bauteile ist - wie Formel 1 zeigt - die der Biegespannung proportionale Dehnung an den einzelnen Meßpunkten gültig. Zur Erfassung der reinen Biegespannungen dienen besondere Schaltungen der DMS die auf dem Rohr aufgebracht sind. Da aber zur Aussage der Festigkeit die zusammengesetzte mechanische Spannung erforderlich ist, muß die Dehnung - hervorgerufen durch die Einwirkung von Normal- und Schubspannungen - erfaßt werden. Dies erreicht man durch Schaltung der DMS in der beschriebenen Form. Wie die Bilder 4 - 6 zeigen, treten mechanische Spannungen von max. 3.400 kp/cm^2 auf. Bei einer zulässigen max. Spannung von 6.000 kp/cm^2 wird - gemessen an der extrem hohen Belastung - eine genügend hohe Sicherheit erreicht.

Registrieren von Motorströmen einer
Walzenstrasse mit Lichtstrahloszillographen



OSCILLOFIL S als Registriergerät bei der Messung
an einer Walzenstrasse

Grund der Messung:

Auf einer Walzenstrasse mit 38 Gerüsten sollte ein runder Rohling von 6 m Länge zum Achtkant gewalzt werden. Die Drehzahlen der Motoren wurden, wie die Gerüste selbst, manuell nach Erfahrungswerten eingestellt.
Bei der Walzung stellte sich heraus, dass der Rohling in der Walzenstrasse zerriß. Dieser Fehler trat immer bei den letzten 10 Gerüsten auf.

Meßaufgabe:

Es war zu messen, ob die Gerüste bzw. deren Motoren gleichmässig belastet wurden. Man vermutete in der ungleichmässigen Belastung die Ursache des Zerreißens des Rohling.

Durchführung der Messung:

Zur Erfassung der Belastung der einzelnen Motoren der Walzenstrasse wurden die Motorströme mit Hilfe eines Lichtstrahloszillographen OSCILLOFIL S aufgezeichnet. Es wurde die Spannung, die an den Nebewiderständen der Strommesser abfiel (s.Schaltbild), oszillographiert. Da die Shunts für 250 A/60 mV Kl.0,5 ausgelegt waren, der maximale Motorstrom jedoch nur ca.150 A betrug, wurde die Eichung der Galvanometer des Oszillographen über Universalsteller unter Zuhilfenahme einer Normalspannungsquelle auf 36 mV = 20 mm Ausschlag festgelegt.

Es wurde nun der erste Rohling von 1 m Länge durch die Walzenstrasse geschickt. Hierbei stellte sich heraus, dass die Motorströme stark unterschiedliche Grössen hatten und sich zudem noch untereinander beeinflussten.

Diese Beeinflussung kann in der gegenseitigen Be- oder Entlastung der Motoren liegen.

Unter Belastung ist zu verstehen, dass z.B. der Motor 30 gegenüber dem Motor 29 eine relativ zu niedrige Drehzahl hat. Hierdurch wird der Motor 29 stärker belastet, was zur Überlastung des Motors oder zu Stauchen des Rohlings zwischen Gerüst 29 und 30 führen kann.

Eine Entlastung tritt dann ein, wenn z.B. der Motor 30 gegenüber dem Motor 29 eine relativ zu hohe Drehzahl hat. Hierbei wird der Motor 29 entlastet, was zur Überlastung des Motors 30 oder zum Zerreißen des Rohlings zwischen Gerüst 29 und 30 führen kann.

Da das Zugmoment der Walzenstrasse unabhängig von der Belastung der Motoren durch unterschiedliche Walzendurchmesser vorgegeben war, kam es darauf an, die Ströme und damit die Motorbelastungen möglichst gleich gross zu halten.

Mehrere kurze Rohlinge (1 m) wurden nun gewalzt. Anhand der erhaltenen Oszillogramme (eines davon anbei) wurden die Ströme und damit die Motordrehzahlen laufend korrigiert, so dass am Ende des Verfahrens eine gleichmässige Walzung sichergestellt wurde.

Oszillogrammbesprechung:

Das vorliegende Oszillogramm zeigt die Motorströme der letzten 12 Gerüste einer Walzenstrasse. Es beginnt rechts oben mit dem Einlauf des Rohlings in das Gerüst (G) Nr. 27, erkennbar am Anstieg des Stromes. Beim Einlauf des Rohlings in das G 28 steigt dessen Motorstrom ebenfalls an (zweite Kurve von oben) usw. Jeder neue Gerüsteinlauf gibt eine Rückwirkung auf die Motorströme der vorherigen Gerüste.

Diese Rückwirkung ist unterschiedlich gross. Am besten ist sie beim Einlauf in G 34 am Motorstrom von G 33 zu sehen.

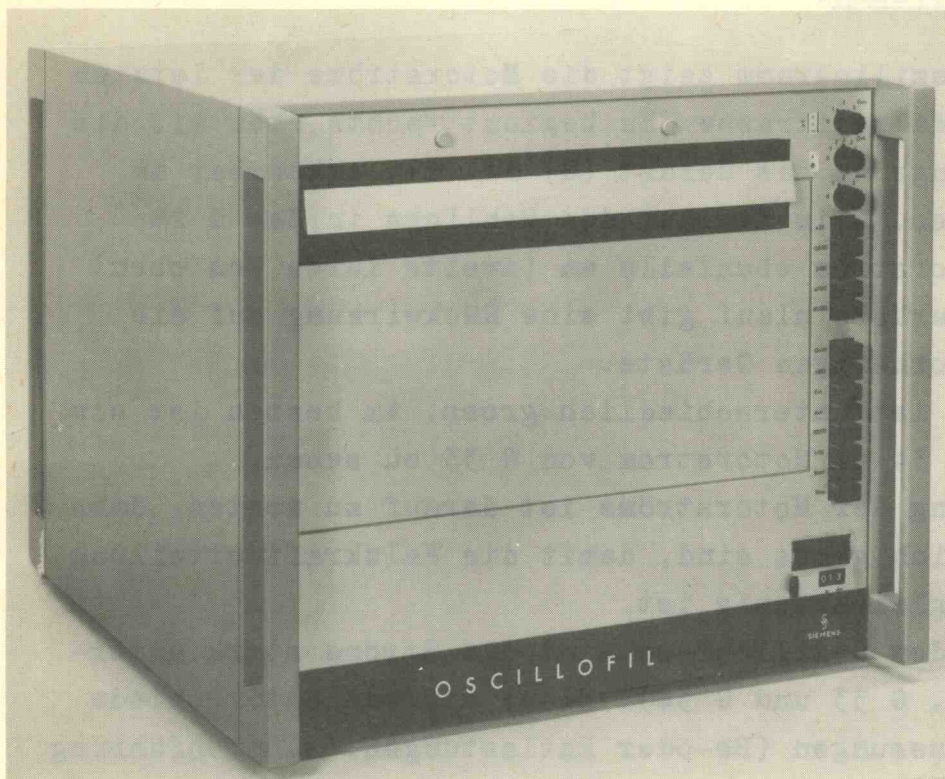
Bei der Betrachtung der Motorströme ist darauf zu achten, dass sie annähernd gleich gross sind, damit die Walzkraftverteilung über die Strasse gleichmässig ist.

Bei dem vorliegenden Oszillogramm sind die Ströme stark unterschiedlich (vergl. G 33 und G 34). Diese starken Unterschiede können zu Beeinflussungen (Be- oder Entlastungen, s. Durchführung der Messung) der Motoren bzw. ihrer Ströme untereinander führen.

Das ist im vorliegenden Falle am besten an G 35 und G 36 zu beobachten. Der Strom von G 35 steigt nach dem Einlauf des Rohlings in G 36 laufend an und ist am Ende (Auslauf) annähernd doppelt so gross. Der Strom von G 36 ist ungefähr konstant und im Vergleich zum Ende von G 35 recht klein.

Daraus ist zu schliessen, dass G 36 G 35 belastet. Die Drehzahl von G 36 müsste erhöht werden.

Als Beispiel für Entlastung können die Ströme von G 31 und G 32 angesehen werden. Nach Auslauf aus G 31 steigt der Strom von G 32 an. G 32 hat also G 31 entlastet. Die Drehzahl von G 31 müsste erhöht werden.



OSCILLOFIL S

Lichtstrahl-Oszillograph für maximal 36 Messkanäle zum Registrieren elektrischer und nichtelektrischer Grössen, wahlweise verwendbar als Tischgerät oder als Einschub in 19"-Gestellen.

Die Oszillogramme können in UV-Schrift oder, nass zu entwickeln, in kontrastreicher Schwarzweiss-Schrift oder in Farbschrift mit drei verschiedenen Farbspuren geschrieben werden. Für die nass zu entwickelnden Papiere sind Vorrats- und Einlaufkassetten erforderlich.

Technische Daten

Lichtzeigerlänge: 30 cm; Papiergeschwindigkeit (v_p): 0,15 bis 500cm/s; Papierbreite bis 305 mm (12"); Papiervorratslänge bis 60 m

(30 m für $v_p = 250$ cm/s und 10 m für $v_p = 500$ cm/s);

Vorwahl der Oszillogrammlängen bis zu 60 m, in Stufen von 0,1 m

Erreichbare Schreibgeschwindigkeiten in m/s mit

HBO 100 W/2 Halogenlampe 55 W

1000	100	UV-Direktschrift
5000	500	Schwarzweiss-Schrift
1000	100	Farbschrift

Anschlußspannung 220 V/50 Hz

Abmessungen: Höhe 350 mm, Breite 440 mm, Tiefe 340 mm

Bestellumfang:

Für die Ausführung der Messung wurden nachstehend aufgeführte Geräte verwendet:

- 1) 1 Lichtstrahloszillograph OSCILLOFIL S
Grundgerät mit eingebauter Papierlängenvorwahl
Best.Nr. C7o486-B1-A9
- 2) 1 Zeitordinatengeber
zum Einbau in Pos. 1,
für 100/10 und 1/0,1 Hz
Best.Nr. C7o486-B1-A8

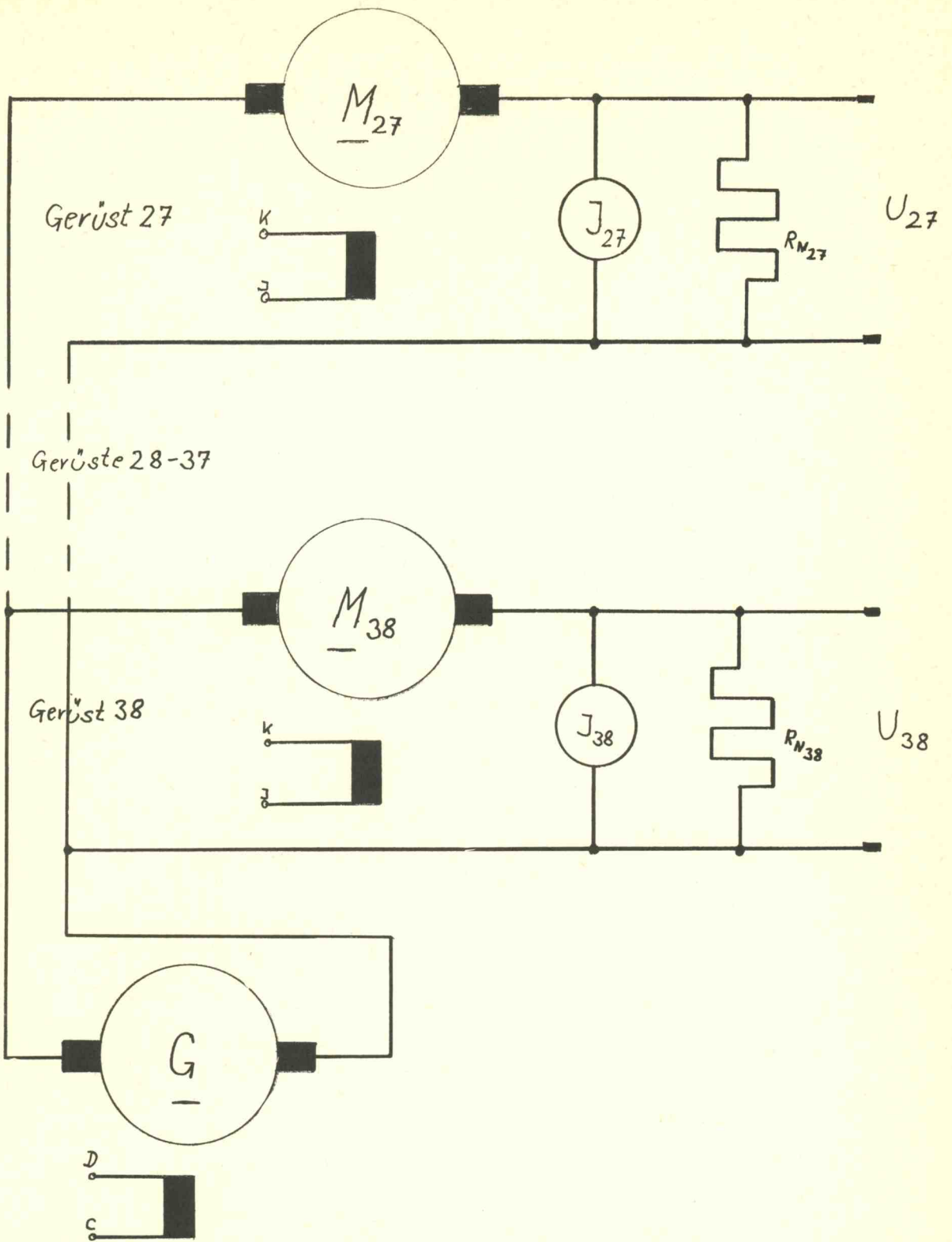
oder wahlweise:

- 2a) 1 Zeitordinatengeber
wie Pos. 2, jedoch
für 1000/100 Hz
Best.Nr. C7o486-B1-A7
- 3) 1 Quecksilberdampf-Höchstdrucklampe
HBO 100 W/2
Best.Nr. S7o479-A1-A28
- 4) 1-6 Galvanometereinschübe
mit Magnetblock zur Aufnahme von
6 kleinen Spulenschwingern
Best.Nr. C7o486-B4-A2
- 5) 6-36 Kupplungsdosen
zum Anschluß der Meßleitungen
6 Stück pro Magnetblock erforderlich
Best.Nr. S7o479-A39
- 6) 6-36 Kleine Spulenschwinger S35o
Frequenzbereich 0-350 Hz (3db)
Ri: 4o Ohm, Ra: 4o Ohm
Best.Nr. M919-A6
- 7) 1 Rolle Registrierpapier UV 3o5/6o
Breite: 3o5 mm, Länge 6o m
Best.Nr. S7o479-A1-A5
- 8) 6-36 Universalsteller
zum Abschwächen von Meßströmen und
Meßspannungen bis max. 5oo V/1oA
Best.Nr. C7o486-B4-A1o

oder:

- 8.1) 1-6 6-fach Universalsteller
Daten wie 8)
Best.Nr. C7o486-B4-A11

Zur Lösung andersgearteter Meßaufgaben steht eine große Auswahl weiterer Lichtstrahloszillographen und Zubehör zur Verfügung.



U ₂₇ >	Universal- Steller C70486- B4-A10	Galv. Einschub C70486- B4-A2	Schwinger S 350 M919-A6	OSCILLOFILS
U ₃₈ >	Universal- Steller B70484- B4-A10	Galv. Einschub C70486- B4-A2	Schwinger S 350 M919-A6	C70486-B1-A9

Block-Schaltbild



