

**Separatdruck aus Technische Rundschau
Bern/Schweiz Nr. 15/1964**

Feintechnische Probleme beim Bau elektrischer Messgeräte

Von Hugo A. Leutenegger¹

Einleitung	2
Allgemeines.....	2
Definition des Begriffes «elektrisches Messgerät»	2
Vorzüge des elektrischen Messgerätes	2
Die konstruktive Aufgabe	3
Feintechnische Probleme.....	4
Grundsätzlicher Aufbau der elektrischen Messgeräte.....	4
Gehäuse	4
Messwerk	5
Eingebautes Zubehör	6
Feintechnische Probleme der Konstruktion.....	6
Wie steht es heute?,	7
Auf welche Weise wird die Normung erreicht?	7
Forderungen für Entwicklung und Konstruktion	8
Besondere Konstruktionselemente	9
Die äussere Form.....	12
Registriergeräte	12
Feintechnische Probleme der Fertigung	13

¹ Vizedirektor in Firma Trüb, Tauber & Co. AG, Hombrechtikon (Zürich). Vortrag vom 27. Januar 1964, gehalten an der Eidgenössischen Technischen Hochschule im Rahmen des Fortbildungskurses <Feintechnik> für Physiker, Maschinen- und Elektroingenieure.

Überreicht durch: Trüb, Täuber & Co. AG, 8634 Hombrechtikon/Zürich

Mit freundlicher Genehmigung der „Binkert Medien AG“
vom 23. Sept. 2011

Einleitung

Allgemeines

Im Zeitalter einer stürmisch vordringenden elektronischen und digitalen Technik wird oft die Meinung vertreten, die Epoche der konventionellen Messgeräte sei vorbei. Dass diese Annahme jedoch nicht den Tatsachen entspricht, soll im Verlaufe dieser Ausführungen noch näher erläutert werden. In dieser Abhandlung sollen elektrische Messgeräte traditioneller Bauart behandelt werden, also anzeigende bzw. schreibende Instrumente mit mechanisch-elektrischen Messwerken.

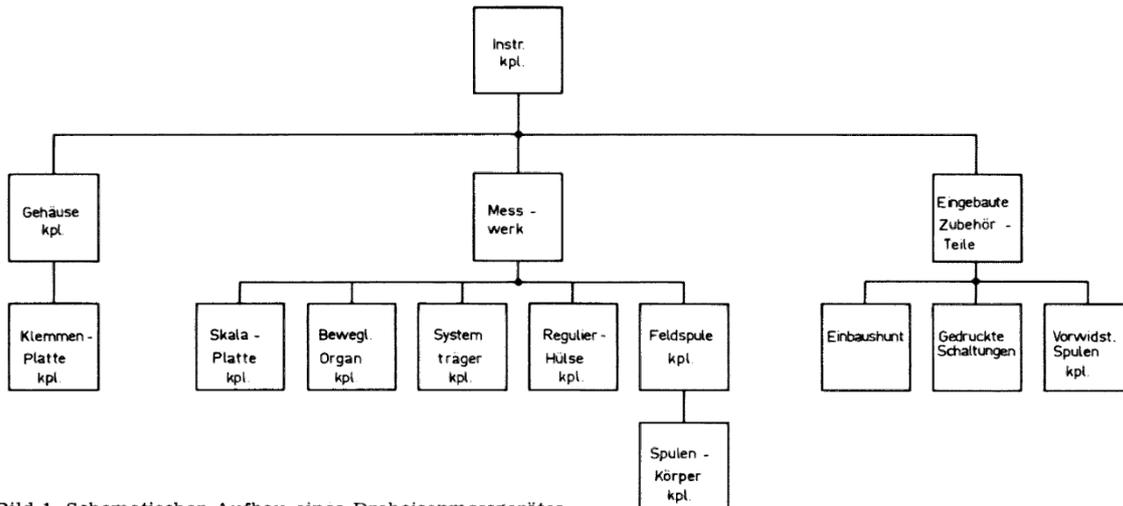


Bild 1. Schematischer Aufbau eines Dreheisenmessgerätes.

Definition des Begriffes «elektrisches Messgerät»

Es ist ein Gerät zum Messen elektrischer Grössen, und zwar mit dem besonderen Kennzeichen, dass die elektrische Grösse unmittelbar (elektromagnetisch, elektrostatisch oder elektrothermisch) in eine mechanische Kraft bzw. ein Drehmoment umgeformt wird, welches Anzeige, Registrierung oder Kontaktgabe bewirkt. Dabei wird der Messwert fast immer als analoger geometrischer Wert, nämlich als Längen- oder Winkelwert dargestellt. Im Gegensatz dazu erfolgt bei «elektronischen Messgeräten» die Messung mit elektronischen Mitteln, also unter Verwendung der Elektronenleitung im Vakuum, in Gasen oder in Halbleitern.

Bei «digitalen Messgeräten» wird der Wert der Messgrösse nicht analog, sondern sozusagen quantisiert als Zahlenwert dargestellt.

Vorzüge des elektrischen Messgerätes

Wenn wir die Bedeutung des elektrischen Messgerätes in der modernen Messtechnik etwas näher betrachten, so zeigt es sich, dass die mechanisch-elektrisch analoge Technik keineswegs eine technisch überholte Alternative zu einer «modernen» elektronischen oder digitalen Technik ist. Sie ist für bestimmte Messaufgaben überlegen durch Wirtschaftlichkeit, Funktionssicherheit und Sinnfälligkeit der Darstellung des Messwertes.

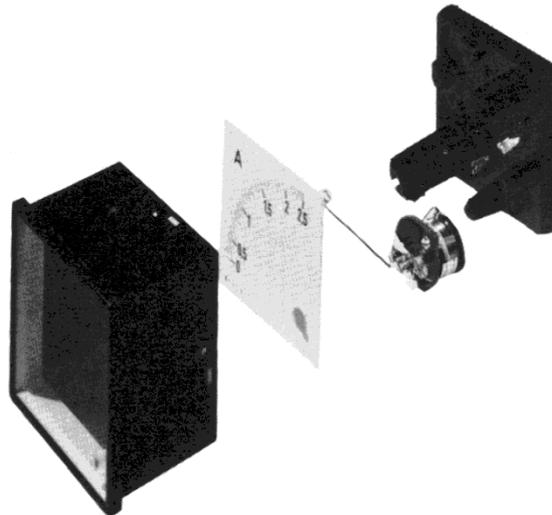


Bild 2. Dreheisenmessgerät in Hauptbaugruppen zerlegt.

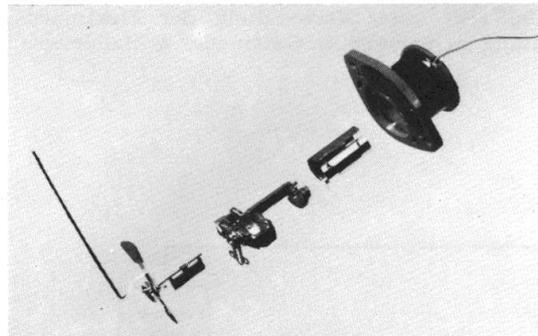


Bild 3. Zerlegtes -Dreheisenmesswerk.

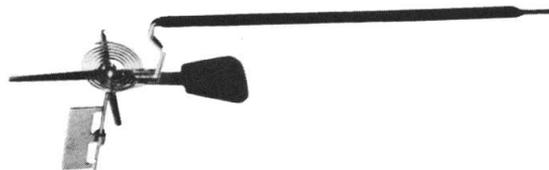


Bild 4. Bewegliches Organ eines Dreheisenmesswerkes.

In der neuzeitlichen elektrischen Messtechnik benötigen beide Techniken einander, und sie ergänzen sich in hervorragender Weise.

Die konstruktive Aufgabe

Die dem Erbauer elektrischer Messgeräte gestellte Aufgabe liegt daher heute sinnvollerweise darin, die genannten Vorzüge dieser Technik möglichst weitgehend zu realisieren sozusagen zu kultivieren, damit diese Technik den Anforderungen der modernen Messtechnik gerecht werden und die ihr dort zustehende Stellung ausfüllen kann. Die Grundlagen, nach denen elektrische Messgeräte arbeiten, sind altbekannt, sie stammen meist noch aus der Zeit vor der Jahrhundertwende. Die Fertigung hat eine ehrwürdige handwerkliche Tradition.

Man kann also sagen, dass es sich hier um eine ausgereifte Technik handelt. Die Entwicklung von Funktion und prinzipiellem Aufbau elektrischer Messgeräte kann als im wesentlichen abgeschlossen betrachtet werden: Solche Geräte sind heute durch nationale Normen und Regeln sowie durch internationale Empfehlungen weitgehend standardisiert.

Feintechnische Probleme

Die Probleme beim Bau elektrischer Messgeräte ergeben sich aus der vorliegenden Aufgabe, ein Produkt herzustellen, dessen Standard durch die Regeln und Normen weitgehend vorgegeben ist. Dabei soll das Messgerät möglichst wirtschaftlich herzustellen sein, möglichst hohe Funktionssicherheit, Lebensdauer und Wartungsfreiheit gewährleisten und den Messwert in möglichst klarer, übersichtlicher und auch ästhetisch ansprechender Art darstellen.

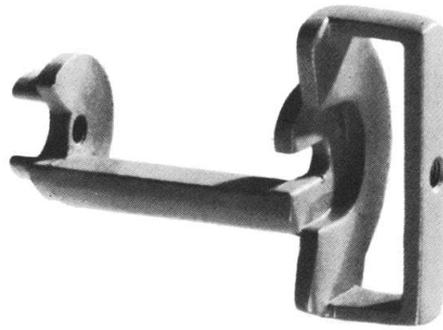


Bild 5. Systemträger aus Druckguss.

Diese Probleme sind — der Eigenart dieser Technik entsprechend — weitaus überwiegend feintechnische Probleme.

Grundsätzlicher Aufbau der elektrischen Messgeräte

Ein Messgerät wird unterteilt in das eigentliche Messinstrument sowie in getrenntes bzw. angebautes Zubehör. Auf Bild 1 sehen wir z. B. den schematischen Aufbau eines Messinstrumentes mit einem Dreheisen-Messwerk. Die Hauptgruppen sind: Gehäuse, Messwerk, eingebautes Zubehör.

Das getrennte bzw. angebaute Zubehör soll im Rahmen dieser Abhandlung nicht besonders erwähnt werden. Auch auf Bild 2 sind die Hauptgruppen deutlich sichtbar. Der Vollständigkeit halber wurde die Skala ebenfalls herausgestellt.

Gehäuse

Sie sind in den wesentlichen Abmessungen zum Teil genormt. Beispiele: Quadratische, rechteckige und runde Schalttafelgeräte.

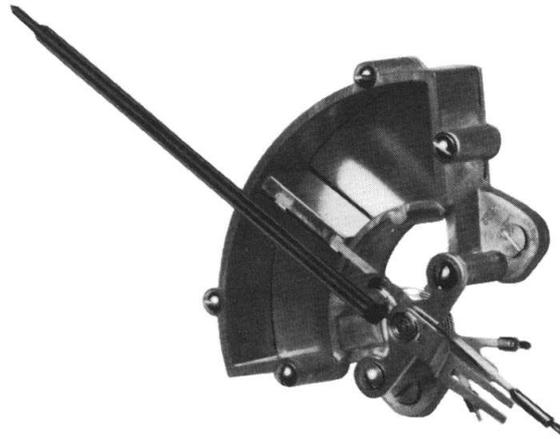


Bild 6. Luftdämpfung eines Dreheisenmesswerkes.

Zum Gehäuse gehört ebenfalls die Klemmenplatte, die sogenannte Grundplatte, auf der Messwerk und eingebautes Zubehör montiert werden.

Messwerk

Man unterscheidet grundsätzlich drei Messprinzipien: das elektromagnetische, das elektrothermische und das elektrostatische Prinzip.

Unter elektromagnetische Messprinzipien fallen folgende Messwerksarten: Drehspul-, Drehmagnet-, Dreheisen-, Eisennadel-, elektrodynamisches, Induktions- und Vibrationsmesswerk.

Unter das elektrothermische Messprinzip fallen: Hitzdraht- und Bimetall-Messwerk. Schliesslich noch das elektrostatische Messwerk.

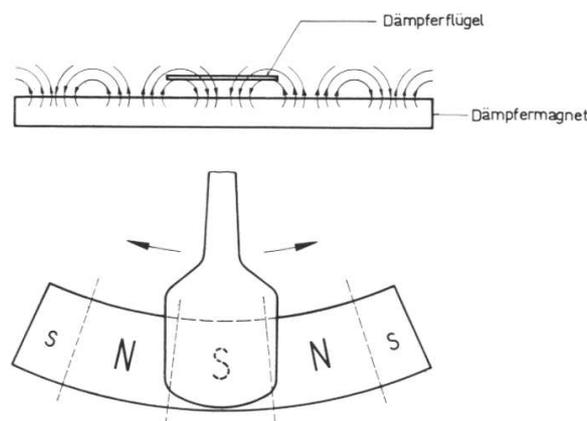


Bild 7. Prinzip der magnetischen Dämpfung.

Allen diesen Messwerken gemeinsam ist der Aufbau aus einem feststehenden Teil und einem beweglichen, meist drehbar gelagerten Teil («bewegliches Organ»). Zum Messwerk gehört auch die Skala.

Auf dieses bewegliche Organ wirkt das von der elektrischen Messgrösse erzeugte Drehmoment einem mechanisch oder elektrisch erzeugten Richtmoment entgegen. Das bewegliche Organ stellt sich auf den Gleichgewichtszustand ein, also den Zustand, in dem die Summe aller Momente gleich Null wird. Die Bewegung des beweglichen Organs wird meist durch eine zusätzliche Einrichtung gedämpft.

Zu den Skalen ist zu bemerken, dass hier gewisse Normen in Vorbereitung sind. Eine zu weitgehende Normung solcher Teile, die das «Gesicht» eines Messgerätes bestimmen, ist

abzulehnen, da dadurch eine Anpassung an den neuesten Stand der Technik und den Zeitgeschmack erschwert wird.

Eingebautes Zubehör

Dieses ist teils elektrischer Art: Schaltungen von Widerständen, Induktivitäten, Kapazitäten, Gleichrichtern usw., teils mechanischer Art: Registriereinrichtungen, Kontakteinrichtungen (die aber auch induktiv. kapazitiv oder photoelektrisch sein können) usw.

Die Anwendung der Baugruppenteknik ist ein wesentliches Merkmal im Messgerätebau.

Feintechnische Probleme der Konstruktion

Im Messgerätebau zeigt sich der Fortschritt der Technik besonders deutlich. In einem bekannten Buch, das vor 15 Jahren herauskam und das elektrische Messgerät behandelt, steht u. a.:

«Eine Messgerätefabrik ist der verkörperte Individualismus.» Weiter: «Die grosse Mehrzahl der Messgeräte wird in kleinen und kleinsten Serien, die periodisch nach Bedarf aufgelegt werden, hergestellt. Wo so viele Dinge in kleinen Zahlen angefertigt werden, ist nur der äussere Rahmen der einer Fabrik, das Innere ist durchaus handwerklich ausgerichtet.

Selbstverständlich muss das Handwerk vom Wissenschaftler, vom Physiker und vom Ingenieur gesteuert werden, aber der hochwertige Facharbeiter ist und bleibt doch das A und O der Messgerätefabrik.»

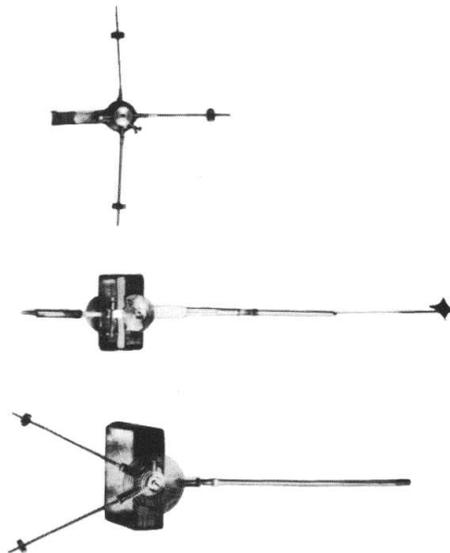


Bild 8. Balancearten bei beweglichen Organen.

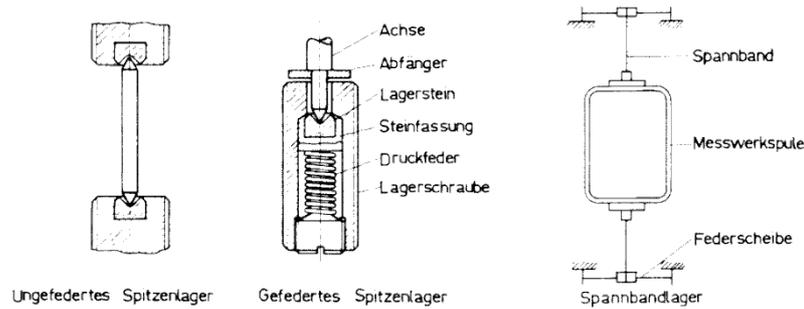


Bild 9. Lagerarten in elektrischen Messwerken.

Wie steht es heute?,

Mit wenigen Ausnahmen werden fast alle Arbeitsgänge mit angelegerten Kräften durchgeführt. Den Kopf einer Messgerätefabrikation bilden, wie in andern Industriezweigen, ausgesuchte Teams von Ingenieuren, Technikern, Fertigungsplanern, Betriebswirtschaftlern usw.

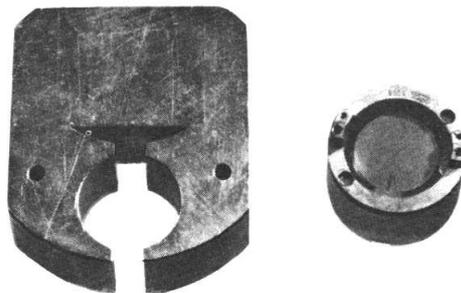


Bild 10. Zwei typische Dauermagnete von Drehspulmesswerken: Aussenmagnet und Kernmagnet.

Ein Beispiel soll die Entwicklung kurz beschreiben:

Die Firma Trüb, Täuber & Co. AG feierte im Jahre 1963 ihr 70jähriges Bestehen. Seit dem Jahre 1905 werden in diesem Unternehmen Messgeräte hergestellt. Für die Fertigung von Dreheisengeräten waren noch vor Jahren an die 18 verschiedene Messwerke erforderlich: Jedes Gerät war anders aufgebaut. Fast keine Normteile usw. kamen zur Verwendung. Jedes Messwerk war handwerklich entwickelt worden.

Heute werden dagegen nur noch drei Messwerke benötigt, wobei diese aber einen viel weiteren Bereich an Gehäusegrößen überstreichen. Viele Teile innerhalb der einzelnen Messwerke sind Normteile.

Auf welche Weise wird die Normung erreicht?

Der Entwicklung und Konstruktion wird in der Regel ein Pflichtenheft vorliegen, in dem neben Messprinzip und elektrisch-physikalischen Forderungen auch Vorschriften für die äussere Formgebung (Gehäuse, Skala) festgelegt sind. Eine Begrenzung der Herstellkosten ist zweckmässig, die Wirtschaftlichkeit ist auch im Messgerätebau oberstes Prinzip.

Auf Grund dieses Pflichtenheftes müssen bereits beim Entwerfen des Gerätes und seiner Teile Überlegungen angestellt werden, die weit in die eigentliche Fabrikation hineinreichen. Eine enge Zusammenarbeit von Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und

Fertigung ist daher von Anfang an nötig. Am zweckmässigsten erscheint es, gleich bei Beginn einer neuen Entwicklung ein besonderes Spezialistenteam einzusetzen, welches die verschiedenen Sparten in sich vereinigt und das eine weitgehende Normung und Typisierung anstrebt.

Elektrische Messgeräte werden in relativ, kleinen Serien gebaut. Sie müssen innerhalb ihrer Typen bezüglich ihrer messtechnischen Eigenschaften — Messbereich, Dämpfung, Einstellzeit usw. — zur Anpassung an den jeweiligen Kundenwunsch variiert werden können.

Um die Vielzahl der Messwerktypen, Teile, Teilegruppen usw. nicht ins Unermessliche steigen zu lassen und um einigermaßen wirtschaftliche Losgrößen zu erhalten, ist es nötig, sich auf einige wenige Grundtypen mit immer wiederkehrenden gleichartigen Teilen zu beschränken («Bausteinprinzip»).

Forderungen für Entwicklung und Konstruktion

Die Teile und Teilgruppen müssen vor allem nach den beiden Gesichtspunkten Funktionssicherheit und einfachste Montage konstruiert werden. Die Frage der Teilekosten (Material- und Herstellkosten) muss natürlich auch berücksichtigt werden, sie tritt jedoch gegenüber den Lohnkosten bei Montage und Eichung in den Hintergrund.

An die Funktionssicherheit der Teile müssen sehr hohe Forderungen gestellt werden bezüglich Alterung, Stoss- und Rüttelfestigkeit, Klimafestigkeit, Verschleiss bei beweglichen Teilen, elektrischer Überlastbarkeit. Massgebend ist hier richtige Werkstoffwahl, geometrische Formgebung Oberflächenbehandlung usw.

Einfache Montierbarkeit wird gewährleistet durch eine möglichst geringe Anzahl von Teilen, durch zweckmässige Verbindungselemente (Nieten, Kitten, Punktschweissen usw., möglichst keine Schraubverbindungen).

Der Schönheit und Zweckmässigkeit der äusseren Formgebung muss bei Gestaltung des «Gesichtes» eines Messinstruments innerhalb des durch die Normen gegebenen Spielraums erhebliche Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Eine der wichtigsten Forderungen, die an Konstruktion und Entwicklung gestellt werden, ist, dass die Geräte von angelernten Arbeitskräften hergestellt werden können. Der Konstrukteur muss sich deshalb bereits in die einzelnen Arbeitsgänge versetzen, er muss im Geiste sehen, mit welchen Vorrichtungen und Werkzeugen gefertigt wird, denn es ist klar, dass, wenn eine Fabrikation einwandfrei beherrscht werden soll und diese mit Hilfe angelernter Kräfte ausgeführt wird, möglichst alle Arbeitsgänge zu mechanisieren sind, der Einsatz von Vorrichtungen muss also überwiegen.

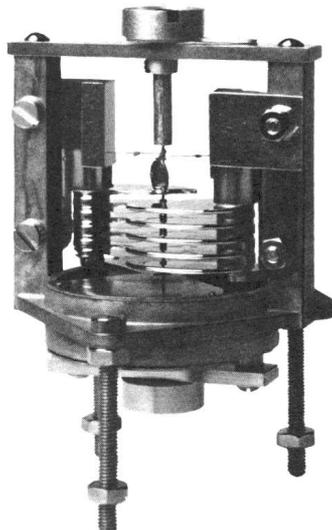


Bild 11. Elektrostatiches Präzisionsmesswerk.

Bild 3 zeigt ein zerlegtes Dreheisen-Messwerk. Die Bauteile Spule, Regulierhülse, Systemträger und bewegliches Organ sind gut ersichtlich.

Ein anspruchsvoller Teil ist das bewegliche Organ (Bild 4). Die hauptsächlichsten Bauteile sind Systemachse, Messwerkfeder, Ankerblech, Zeiger, Dämpferflügel. Diese Teile sind für eine Massenfertigung konstruiert. Die wesentlichsten Bearbeitungsverfahren sind Stanzen, Biegen, Kerben, Nieten, Bördeln, Kleben. Daraus geht hervor, dass die spanlose gegenüber der spanabhebenden Bearbeitung den Vorzug hat.

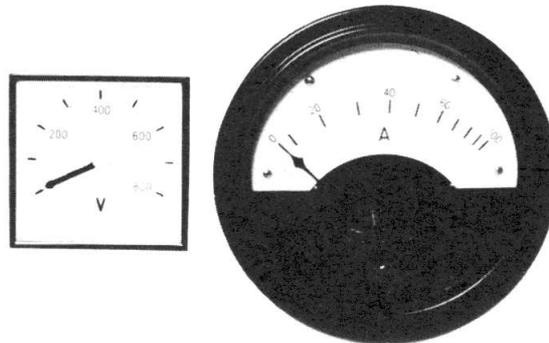


Bild 12. Größenvergleich der Skalalänge bei alten und neuen Messgeräten.

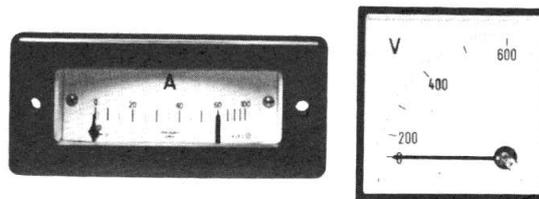


Bild 13. Vergleich zwischen Breitrahmen (1930) und Schmalrahmen (1963).

Sehr häufig wird im Instrumentenbau der Druckguss (Spritzguss) verwendet. Bild 5 zeigt einen Messwerkträger aus Druckguss. Er ist ein besonders wichtiger Teil des Messwerkes. Die Anforderungen sind:

- Hohe Masshaltigkeit ohne Nacharbeit
- Hohe Beständigkeit gegen Alterung (mechanische Veränderung).

Das Bemerkenswerte an dieser Konstruktion ist, dass dieser Träger aus nur einem Stück besteht, im Gegensatz zu älteren Lösungen, die meist aus zwei bis drei zusammen geschraubten Teilen bestanden, und dass er ausser dem Gewindeschneiden keinen weiteren Arbeitsgang erfordert.

Besondere Konstruktionselemente

Es gibt verschiedene Arten, das bewegliche Organ zu dämpfen. Am häufigsten sind Luft- und magnetische Dämpfung. Bild 6 zeigt eine Luftdämpfung. Eine Art Löffel (Dämpferflügel) bewegt sich in einem geschlossenen Dämpferkasten. Die Dämpfung entsteht durch die Luftreibung zwischen beweglichem und festem Teil. Der Luftspalt zwischen diesen beiden Teilen beträgt rund 0,3-0,4 mm.

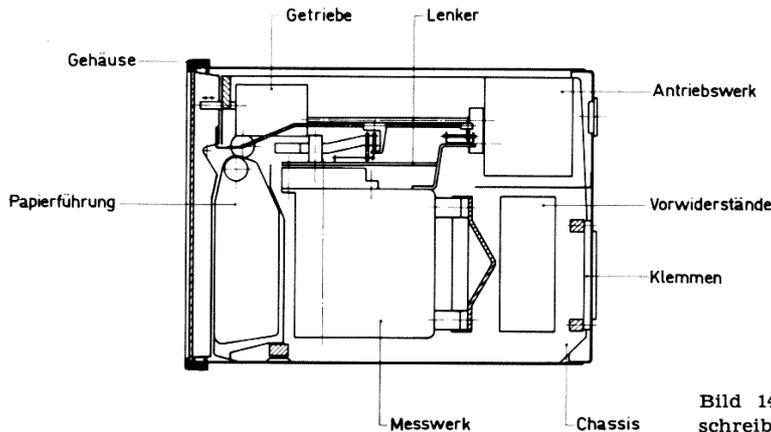


Bild 14. Baugruppenschema für Linienschreiber.

Von besonderer Einfachheit in Herstellung und Montage ist die magnetische Dämpfung (Bild 7). Der Magnet ist so magnetisiert, dass abwechselnd Nord- und Südpole auftreten. Der Dämpferflügel wird von den Feldlinien geschnitten.

Bei der Herstellung beweglicher Organe treten fabrikationsbedingt gewisse Unsymmetrien auf. Grundsätzlich muss deshalb jedes System mit einer Balanciermöglichkeit ausgestattet sein. Bild 8 zeigt 3 verschiedene Lösungen von Balancen für Drehspulsysteme: V-Balance, normale Kreuzbalance und verkürzte Kreuzbalance.

Als Balancegewichte können verwendet werden: Muttern, Hülsen, Drahtspiralen oder aufgetragener Zinn. Die Teile der Balance müssen aus absolut unmagnetischem Werkstoff sein, wie sich versteht.

Eine einwandfreie Lagerung des beweglichen Teiles eines Systems gehört zu den wichtigsten Erfordernissen eines Messwerkes. Geringste Reibung, hohe Schock- und Vibrationsfestigkeit sowie lange Lebensdauer kennzeichnen ein gutes Lager. Im Messgerätebau werden hauptsächlich die nachfolgenden Lagerarten verwendet (Bild 9): Spitzenlagerung (ungefedert), federnde Spitzenlagerung und Spannbandlagerung.

Die Mehrzahl der Messgeräte ist mit Spitzenlagern ausgerüstet, oft sind die hochglanzpolierten Achsspitzen aus Speziallegierungen hergestellt, z. B. Nivapoint-Spitzen. Diese Achsen sind meist in Edelsteinen gelagert, die noch zusätzlich gefedert sind.

Die spezifische Belastung der Lagerspitzen kann bis $60\,000\text{ kg/cm}^2$ betragen. Um die Messempfindlichkeit und die Stossfestigkeit zu erhöhen wird das bewegliche Organ nicht in Spitzen gelagert, sondern an Spannbandern aufgehängt.

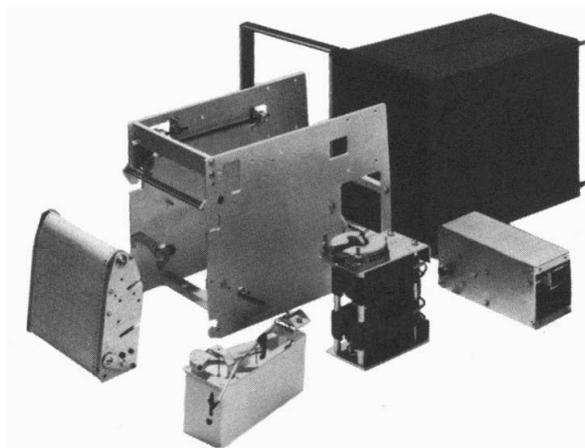


Bild 15. Linienschreiber, montagebereit.

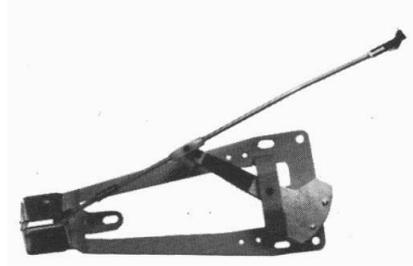


Bild 17. Der moderne Lenker.



Bild 18. Zeigerkreuz mit und ohne Spiralfeder.

Beim Drehspulmesswerk wird das Magnetfeld von einem Dauermagneten erzeugt (Bild 10). Der magnetische Kreis schliesst sich beim Aussenmagnetmesswerk über Polschuhe, ringförmigen Luftspalt und zylindrischen Eisenkern. Beim Kernmagnetmesswerk stellt ein Weicheisenmantel, der das Messwerk umschliesst, den magnetischen Rückschluss dar.

Besondere Probleme feintechnischer Art ergeben sich beim Bau elektrostatischer Messwerke (Bild 11). Im Gegensatz zu einem Dreheisen-Messwerk ist der konstruktive Aufbau wesentlich komplizierter. Bei diesem Präzisionsmesswerk der Klasse 0,2 wird auch das Spannbandlager angewendet.

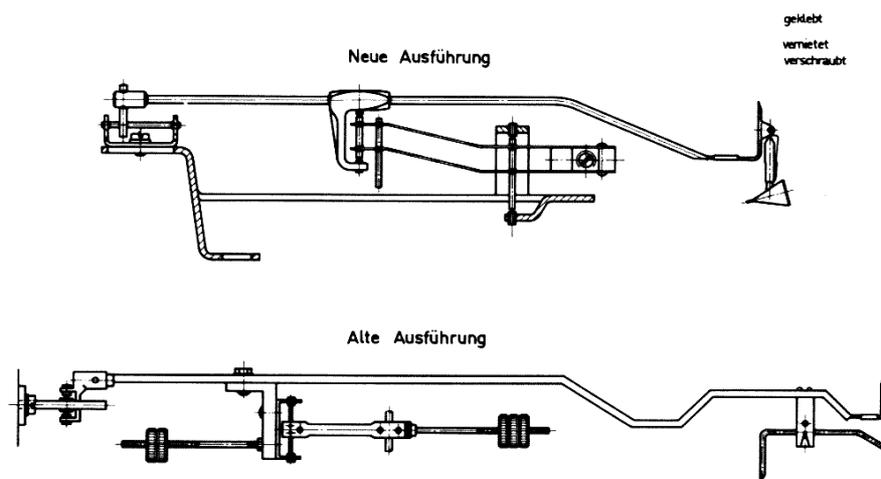


Bild 16. Zwei Lenkerausführungen.

Die äussere Form

Im Zug der Miniaturisierung und der Forderung nach einem ästhetischen Aussehen haben sich die Messgeräte im Verlaufe der Jahrzehnte ganz wesentlich verändert. Bild 12 zeigt einen Vergleich zwischen einem Longscale-Gerät neuester Konstruktion und einem konventionellen runden Instrument aus dem Jahre 1932. Beim neuen Gerät beträgt die Gehäusegrösse 96 X 96 mm und die Skallänge 136 mm, beim älteren Gerät sind es 186 und 118 mm. Das Gerät konnte auf fast die Hälfte verkleinert werden, und dank neuartiger Konstruktion des Messwerkes ist die Skala um 15 % verlängert.

Während früher die Frontrahmen nicht breit genug sein konnten, werden diese heute möglichst schmal ausgeführt. Bild 13 zeigt ein älteres Modell vom Jahre 1930 und ein modernes Gerät mit Schmalfrontrahmen. Konstruktive Merkmale der Schmalrahmengehäuse: Glasscheibe wird nicht mehr auf den Frontrahmen gekittet, sondern mittels Skala und einer Polystyrolblende gegen den Frontrahmen gepresst. Trotz dieser Konstruktionsweise ist das Messwerk gegen äussere Einflüsse wie Staub, Spritzwasser usw. genügend geschützt. Beachtenswert vom ästhetischen Standpunkt aus ist, dass die Skalaplatte ohne sichtbare Schrauben befestigt ist.

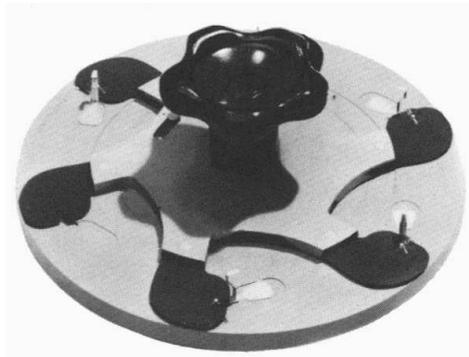


Bild 19. 6fach-Lötvorrichtung für Zeicherkreuz.

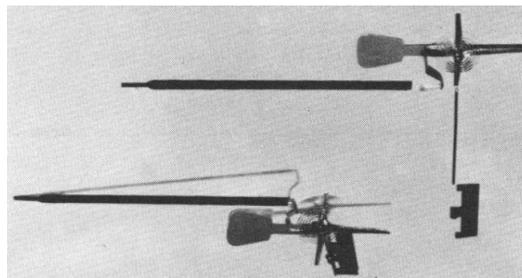


Bild 20. Bewegliches Organ unmontiert und montiert.

Registriergeräte

Die Entwicklung und Konstruktion von Registriergeräten stellt wesentlich andere Anforderungen, als der Bau von Anzeigegeräten. Aus Bild 14 ist der schematische Aufbau eines Linienschreibers ersichtlich. Die Anzahl der Hauptbaugruppen ist hier weit höher, als bei Anzeigegeräten. Auf Bild 15 ist ein montagebereiter Linienschreiber zu sehen. Die Hauptbaugruppen sind: Gehäuse, Chassis, Papierführung, Antriebswerk, Messwerk und Lenker mit Zeiger, nicht sichtbar sind: Getriebe, Vorwiderstände und Klemmen.

Der Lenker ist ein wichtiges Konstruktionselement innerhalb eines Registriergerätes. Es gibt eine ganze Anzahl von Lösungsmöglichkeiten, je nach Bauweise des Instrumentes. Bild 16 zeigt zwei Ausführungen. Bei der älteren Konstruktion sind die einzelnen Teile durch

Verstiften, Vernieten und Verschrauben zusammengefügt.

Bei der modernen Konstruktion ist die Klebetechnik weitgehend angewendet. Bild 17 zeigt eine Originalaufnahme des modernen Lenkers. Leichtmetalllegierungen und Kunststoff sind die überwiegenden Werkstoffarten. Die Bearbeitungsverfahren sind fast ausnahmslos spanlos.

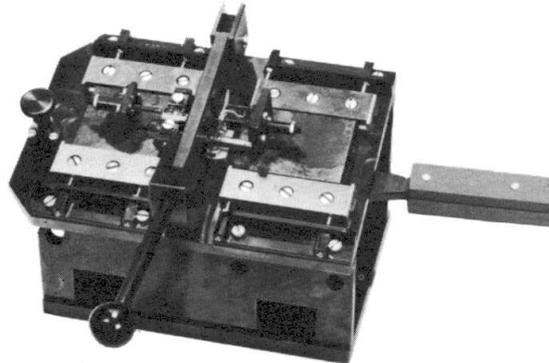


Bild 21. Aufschiebevorrichtung des beweglichen Organs, bereit zum Einpressen.

Feintechnische Probleme der Fertigung

Es sei noch ein kleiner Einblick in die vielfältigen Probleme der Fertigung elektrischer Messgeräte gegeben: Auf Bild 18 ist das sog. Zeigerkreuz mit und ohne montierter Spiralfeder ersichtlich. Der Arbeitsgang «Anlöten der Spiralfeder» ist eine diffizile Angelegenheit und erfordert viel Geschick. Um die Arbeit rationell zu gestalten, wird eine 6fach-Lötvorrichtung verwendet (Bild 19). Der Arbeitsablauf ist folgender:

- 1) Zeigerkreuz in 6fach-Lötvorrichtung auflegen und Haltedrehscheibe bis zum Anschlag gegen Uhrzeigersinn schliessen.
- 2) Spiralfeder an Balancekreuz-Lötfahne auflegen, zur Nabe zentrisch ausrichten und anlöten.
- 3) Zeigerkreuz ausspannen und Lötstellen von Flussmittelrückständen reinigen.

Nachdem diese Arbeiten ausgeführt sind, wird der Arbeitsgang «Montage des beweglichen Organs» in Angriff genommen. Dieses besteht aus Zeigerkreuz, Achse, beweglichem Eisen und Zeiger. Auf Bild 20 ist das bewegliche Organ unmontiert und montiert dargestellt. Sämtliche Teile werden mit einer speziellen Vorrichtung aufgedrückt, lediglich als Sicherung dient ein Klebstoff. Bild 21 zeigt die Aufschiebe- und Aufpressvorrichtung mit eingelegten Teilen und Bild 22 zeigt dieselbe Vorrichtung in geöffnetem Zustand. Die Anforderungen an ein solches Werkzeug sind ausserordentlich hoch.

Beim Aufschieben resp. Aufpressen der Teile darf die Systemachse keinen unnötigen Belastungen ausgesetzt werden, so dass z. B. diese gekrümmt werden könnte oder dass die Spitzen verletzt würden. Mit der Vorrichtung auf Bild 23 wird der von Hand aufgesetzte Zeiger auf Länge und Lage justiert. Genaueste Ausrichtung von Dämpferflügel und Zeiger ist für ein gutes Funktionieren des beweglichen Organs notwendig. Mit der Lehre auf Bild 24 wird der Kontrollarbeitsgang ausgeführt.

Ein weiteres Beispiel soll das Einsetzen des beweglichen Organs in den Systemträger darlegen. Bild 25 zeigt den Systemträger und das bewegliche Organ einzeln und in montiertem Zustand. Eines der wichtigsten Bauelemente des Messgerätes ist das Lager für das bewegliche Organ; Genauigkeit und Betriebssicherheit sind in erster Linie davon

abhängig. Man ist bestrebt, die Lagerreibung so klein wie möglich zu halten, da ja die Messwerke über keine allzu grossen Drehmomente verfügen. Der sogenannten «Spitzenluft» ist beim Montieren des beweglichen Organs in den Systemträger grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Da sich bei Temperaturschwankungen

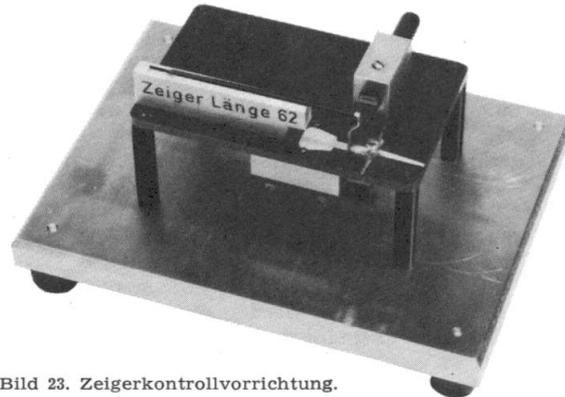


Bild 23. Zeigerkontrollvorrichtung.

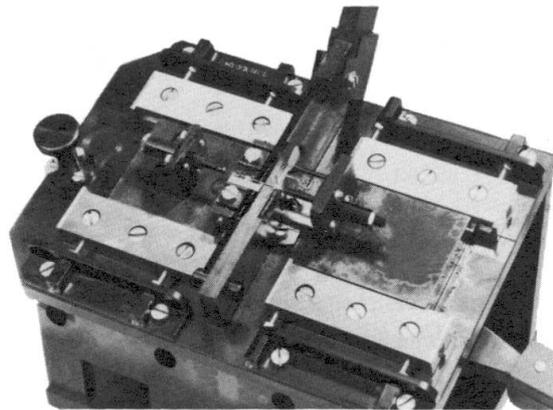


Bild 22. Aufschiebevorrichtung geöffnet.

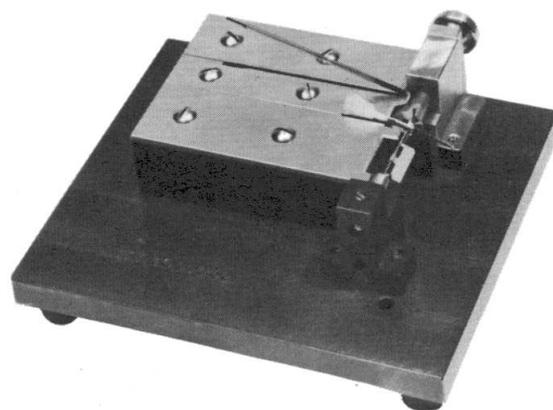


Bild 24. Zeigerdurchschwinglehre.

Längenänderungen der Achse ergeben, erhält man bei zu kleiner Spitzenluft ein Klemmen des beweglichen Organs. Seit Jahren verwenden verschiedene Firmen gefederte Steinlager, welche die Stossicherheit wesentlich verbessern und Beschädigung der Spitzen beim Einstellen der Lager verhüten. Auf Bild 26 ist eine spezielle Vorrichtung zum Einsetzen des beweglichen Organs ersichtlich.

Die Balancierung ohne Vorrichtung braucht viel Übung und Erfahrung. Zur Verringerung der Vorgabezeiten wurde deshalb eine Lehre entwickelt, welche diesen Arbeitsgang schnell und einwandfrei mit angelernten Kräften durchzuführen gestattet.

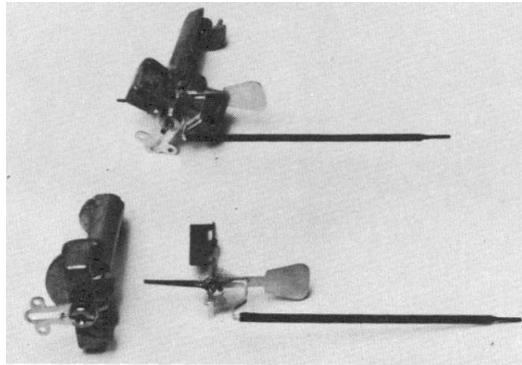


Bild 25. Systemträger und bewegliches Organ einzeln und montiert.

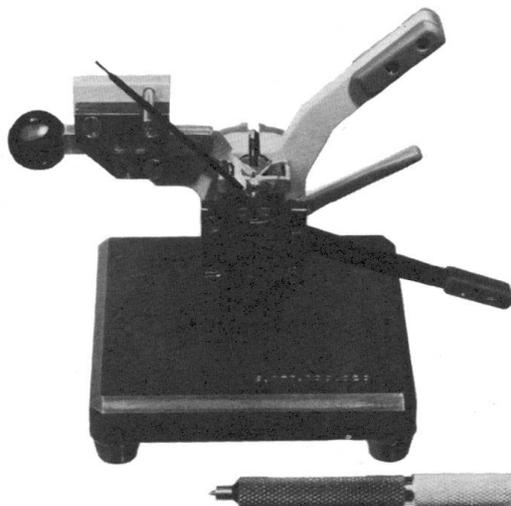


Bild 26. Montagevorrichtung zum Einsetzen des beweglichen Organs in den Systemträger.

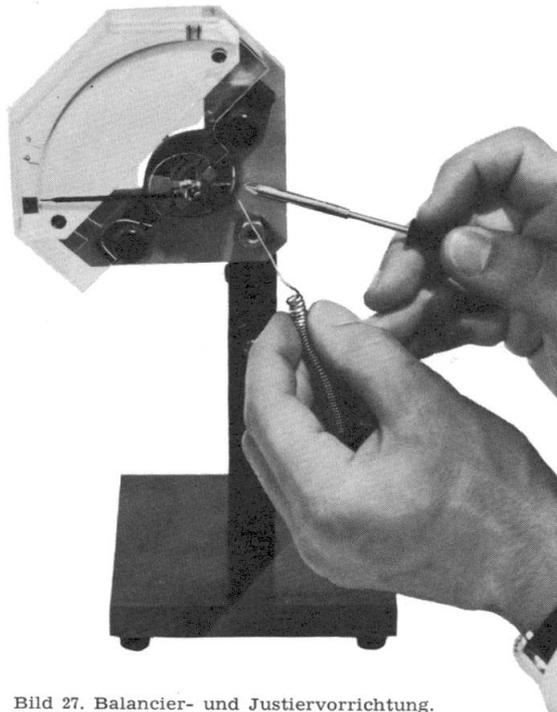


Bild 27. Balancier- und Justiervorrichtung.

Bild 27 zeigt eine solche Balancier Vorrichtung mit Windschutzeinrichtung und schwenkbarem Arm. Im vorliegenden Falle wird mit Zinn balanciert. Die Striche auf der Vorrichtung dienen zur Kontrolle der Dämpfung.