

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 53 (1962)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Spannband- und Spitzenlagerung : Vor- und Nachteile  
**Autor:** Götze, S.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-917005>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 16.01.2026

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

Eine neu entwickelte Impulseinheit wird zwischen Hochspannungsgenerator und Röntgenröhre geschaltet. Die Kabellänge zwischen Impulseinheit und Röntgenröhre kann ohne Benachteiligung durch die Kabelkapazität bis 10 m betragen. Die Schalteinheit enthält 2 Hochspannungs-Tetroden, die die beiden Hochspannungszuleitungen intermittierend öffnen und schliessen. Die Betriebsspannung beträgt 125 oder 150 kV. An der dazugehörigen Steuereinheit kann der Impulsstrom bis 200 mA und die Impulsdauer von 1...10 ms eingestellt werden. Bei einer grössten Aufnahmezahl von 50 Bilder/s der Kamera beträgt die Expositionszeit (= Öffnungszeit der Blende) mit kontinuierlicher Strahlung 10 ms. Mit der Impulseinheit kann also auch bei max. Aufnahmezahl der Kamera durch einen entsprechend erhöhten Strom die Belichtungszeit der Bilder bis auf 10 % der Blendenöffnungszeit reduziert werden. Damit wird nebst der Dosisverminderung mit dem Impulsbetrieb die Bewegungsunschärfe praktisch eliminiert. Die bessere Qualität der Bilder wirkt sich für Bewegungsbetrachtungen und insbesondere für Einzelbildbetrachtung aus. Bisher war die Belichtungszeit pro Bild proportional der Bildfrequenz und durch die Blendenöffnungszeit bestimmt. Mit der freien Wahl der Impulsdauer, unabhängig von der Bildfrequenz, werden auch bei kleinen Bildfrequenzen kurze Belichtungszeiten erreicht. Für Impulsbetrieb ist eine möglichst konstante Gleichspannung nötig. Eingebaute Glättungskondensatoren vor den Schältröhren erlauben den Anschluss auch an 4-Ventilapparate in Graetzschaltung. Da zu dieser Impulseinheit gewöhnliche Röntgenröhren, Hochspannungskabel und Anschlüsse verwendet werden, können damit auch bestehende Anlagen ausgerüstet werden. Für normalen Durchleuchtungs- und Aufnahmebetrieb werden die Schältröhren mit dem eingebauten Umschalter überbrückt.

Eine weitere Möglichkeit zur Kinematographie mit kleiner Dosis bietet die Kineskopie. Dabei wird das Televisionsbild direkt am Sichtgerät gefilmt. Die Helligkeits- und Kontraststeigerung der Television kann dabei auch zum Filmen ausgenützt werden. Bezüglich Auflösungsvermögen kann dieses Verfahren jedoch nicht voll befriedigen. Die Aufnahme Frequenz beträgt konstant 25 Bilder/s und die Kamera muss synchron mit der Television laufen. Bei 25 Bilder/s beträgt die Blendenöffnungszeit  $\frac{1}{50}$  s, d. h. es wird auf dem Film nur ein Halbbild festgehalten mit 312,5 Zeilen. Die Hälfte der Televisionsinformation geht dadurch bezüglich Auflösungsvermögen verloren.

## 5. Untersuchungsgeräte

Die Röntgenuntersuchungsgeräte zur Lagerung der Patienten dienen je nach Untersuchungstechnik und Verwendungszweck auch zur Halterung von Röntgenröhre, Leuchtschirm, Bildwandler mit Zubehör und Filmaufnahmeverrichtungen. Bei den betriebsmässig beweglichen Geräteteilen konnten durch Leichtbauweise und wesentlich verbesserte Gewichtsausgleiche die zu bewegenden Massen erheblich reduziert werden. Dies erlaubt dem Untersucher nicht nur leichtere, sondern auch präzisere und raschere Einstellungen. Das Bewegen grösserer Zusatzgeräte und das Einstellen der Patientenlagerungsplatte (Längs- und Querverschiebung, Drehung bis 180°) erfolgt mit Hilfe von Elektromotoren. Variable Verstellgeschwindigkeiten werden mit polumschaltbaren Wechselstrommotoren oder stufenlos mit thyatrongesteuerten Gleichstrommotoren erreicht.

Damit der Untersucher seine volle Aufmerksamkeit dem Patienten widmen kann, muss die Bedienung unbedingt einfach und fehlbedienungsicher sein, da die Untersuchungen teilweise im ganz- oder halbverdunkelten Raum durchgeführt werden. Verbesserte Streustrahlenabschirmungen erlauben das Tragen leichterer Strahlenschutzkleidung für Untersucher und Personal. Dank dem Einsatz der Television zur Übertragung des Durchleuchtungsbildes vom Bildverstärker und Fernsteuerung des Untersuchungsgerätes muss sich der Untersucher nicht mehr in unmittelbarer Nähe beim Patienten im Bereich der Streustrahlen aufhalten. Die räumliche Trennung von Patient und Arzt ergibt für den Arzt einen vollkommenen Strahlenschutz unter Wegfall von Schutzkleidungen. Fig. 7 zeigt den Untersuchungsplatz des Arztes mit Röntgentelevision, Television für Patientenüberwachung, Schaltpult des Röntgenapparates und Fernsteuerung des Untersuchungsgerätes. Durch ein Bleiglasfenster kann der Patient direkt beobachtet werden. Die Anweisungen des Arztes und die Unterhaltung mit dem Patienten erfolgen über eine Gegensprechanlage.

Insbesondere die Röntgendiagnostik zeigt, dass durch eine fruchtbare Zusammenarbeit der Medizin und der Elektrotechnik mit dem technischen Fortschritt dem Arzt immer neue und bessere Mittel zur Verfügung stehen, Krankheiten frühzeitig zu erkennen und dank genauer Diagnose auch zu heilen.

Adresse des Autors:

M. Schiesser, dipl. Elektrotechniker, Philips AG, Edenstrasse 20, Postfach Zürich 27.

## Spannband- und Spitzenlagerung

### Vor- und Nachteile

Von S. Götze, Wohlen

621.317.7.085.2

Spannbandlagerung und Spitzenlagerung bei Messgeräten werden nach dem heutigen Stande der Technik kritisch verglichen. Es wird gezeigt, dass für normale Messgeräte beide Konstruktionsprinzipien etwa gleichwertig sind. Für hochempfindliche Geräte und Geräte mit kleinem Ausschlagwinkel (Lichtzeiger) bietet die Spannbandlagerung Vorteile. Bei Geräten für rauhe Messbedingungen (Stösse, Vibrationen) und bei schweren Armaturen (grosse Zeiger, u. ä.) bringt die Spitzen- bzw. Zapfenlagerung Vorteile.

### 1. Allgemeines

Die Lagerung der beweglichen Teile eines Messinstrumentes ist eines der wichtigsten Bauelemente. Bestimmt doch die Lagerung wesentlich den Fehler und die mecha-

*On compare la suspension à ruban tendu et celle à pivot d'appareils de mesure, en tenant compte de l'état actuel de la technique. Pour des appareils normaux, ces deux modes de suspension sont presque équivalents. Pour des appareils de haute sensibilité et pour ceux à faible angle de déviation (spot lumineux), la suspension à ruban tendu présente des avantages. Pour les appareils destinés à des emplois rudes (chocs, vibrations) ou comportant de lourdes armatures (grosses aiguilles, etc.), la suspension à pivot est préférable.*

nische Robustheit des Messgerätes. Zwei Konstruktionsprinzipien werden im Messwerkbau verwendet:

a) Spitzenlagerung. Die beweglichen Teile des Messwerkes (Drehspule, Zeiger usw.) werden mit Spitzen ausgerüstet, welche in sog.

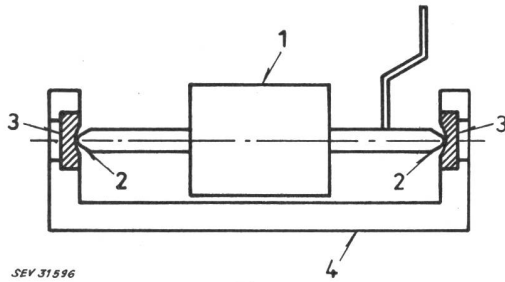


Fig. 1

#### Prinzip der Spitzenlagerung

- 1 bewegliches Organ; 2 Spitzen; 3 Lagersteine (Pfanne);  
4 Systemträger

«Pfannen» (Steinen mit Mulde) laufen. Fig. 1 zeigt das Schema einer solchen Konstruktion. Bei robusten Messwerken wird die variierte Konstruktion des Zapfenlagers angewendet (Fig. 2). Das rückstellende Drehmoment und die Stromzuführung werden meist durch Spiralfedern gewährleistet.

b) Spannbandlagerung. Hier werden die beweglichen Teile des Messwerkes mittels Drähten oder Bändern zwischen 2 Spannfedern befestigt (Fig. 3). Die Federn dienen zur Erzeugung der Bandspannung. Das rückstellende Drehmoment liefern die Spannbänder. Ebenfalls kann die Stromzuführung über die Spannbänder erfolgen.

Zunächst werden jetzt die Gesetzmässigkeiten der Spitzenlagerung und der Spannbandlagerung soweit als notwendig zusammengestellt, um schliesslich einen Vergleich beider Konstruktionen durchzuführen.

## 2. Spitzenlagerung

Die von *Keinath* [1; 2]<sup>1)</sup> bereits 1921 rein empirisch aufgestellte Güteziffer für spitzengelagerte Messwerke bildet noch heute eine wertvolle Dimensionierungsregel. *Keinath* bildet den Quotienten aus Drehmoment des Messwerkes  $M_{90^\circ}$  und Systemgewicht  $S$ :

$$\frac{10 M_{90^\circ}}{S^{1,5}} = \Gamma_K \quad (1)$$

und findet beim Vergleich verschiedener Messgeräte, dass bei gleichen Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und mechanischer Robustheit die Grösse  $\Gamma_K$  konstant sein muss. Wird also bei einem Messwerk das Systemgewicht geändert (z. B. durch eine höhere Windungszahl), so muss das Drehmoment  $M_{90^\circ}$  entsprechend  $S^{1,5}$  mit geändert werden, sollen Genauigkeit und Robustheit gleich bleiben.

Für eine hohe elektrische Empfindlichkeit braucht man eine hohe Windungszahl, d. h. grösseres Gewicht. Oder man verkleinert das Richtmoment  $M_{90^\circ}$ . Es folgt

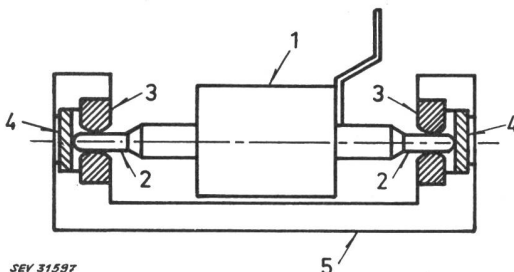


Fig. 2

#### Prinzip der Zapfenlagerung

- 1 bewegliches Organ; 2 Zapfen; 3 Lochstein; 4 Deckstein;  
5 Systemträger

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

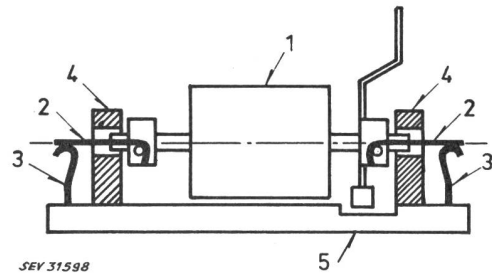


Fig. 3

#### Prinzip der Spannbandlagerung

- 1 bewegliches Organ; 2 Spannbänder; 3 Spannfeder; 4 Abfänger;  
5 Systemträger

damit, dass die Keinathgrösse der Empfindlichkeitssteigerung eine Grenze setzt, denn Gl. (1) verlangt eine Mindestgrösse des Quotienten  $M_{90^\circ}/S^{1,5}$ .

Diese Beziehung der Gl. (1) und insbesondere der auftretende Exponent 1,5 ist inzwischen von verschiedenen Autoren [3] auf die Materialeigenschaften der Spitzenlagerung und die Genauigkeitsanforderungen zurückgeführt und bestätigt worden.

Durch Analyse der Vorgänge in dem Spitzenlager und Benützung der von *Hertz* angegebenen Kugeldruckformeln für die Wechselwirkung zwischen verrundeter Spitze und kugelförmiger Mulde im Lagerstein, lässt sich die Grösse ausdrücken durch

$$\Gamma_K = 0,12 \frac{\mu}{\delta_r \sqrt{\sigma_0}} \quad (2)$$

Darin sind  $\mu$  der Reibungskoeffizient für die Materialpaarung Spitze—Lagerstein und  $\sigma_0$  die maximal zulässige spezifische Belastung der Lagermaterialien in  $[\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}]$ <sup>2)</sup>. Die Grösse  $\delta_r$  erhält man, wenn gefordert wird, dass das auftretende Reibungsmoment  $M_r$  klein gegen das Drehmoment für Vollausschlag sein soll, also:

$$M_r = \delta_r \cdot M_{90^\circ} \quad (3)$$

Aus Gl. (2) liest man folgendes ab: Kleine zu fordernde Werte für  $\Gamma_K$  und damit höhere elektrische Empfindlichkeit erhält man für Lagermaterialien mit kleinem Reibungskoeffizient und grosser spezifischer Belastbarkeit  $\sigma_0$ . Die geforderte Genauigkeit (Kleinheit des Reibungsfehlers und damit der Grösse  $\delta_r$ ) sollte nicht höher als notwendig gewählt werden, da dies auf Kosten der Empfindlichkeit und damit der Leistungsaufnahme geht. Ein kleiner Reibungsfehler ergibt einen grossen Wert für  $\Gamma_K$ .

Diese Betrachtungen galten für senkrechte Anordnung der Messwerkachse. Bei waagrecht liegender Messwerkachse ist der Reibungsfehler erfahrungsgemäss etwa 10 mal grösser [3]. Zur Vereinfachung der Rechnung setzt man deshalb bei waagrechter Messwerkachse in Gl. (1) den 10fachen Betrag für den Reibungswert ein.

Als Richtwert sei ein «normales» Messwerk genannt: Waagrechte Messwerkachse; Stahlspitze mit Saphirstein ( $\mu = 0,1$ ;  $\sigma_0 = 30000 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ ); Reibungsfehler kleiner als 0,5% (Zeigerbreite); Gesamtgewicht des beweglichen Organes  $2p$ . Mit diesen Werten ergibt sich der Wert  $\Gamma_K = 1,4$  und ein erforderliches Drehmoment von  $0,45 [p \cdot \text{cm}]$ . *Keinath* fordert auf Grund seines empirischen Vorgehens für «gute» Messwerke einen Wert von 1(!).

<sup>2)</sup>  $p$  ist das Symbol für Pond.  $1 p = 0,980665 \cdot 10^5 \text{ dyn}$ .

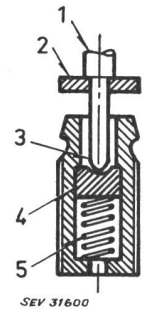
Um die spezifische Lagerbeanspruchung  $\sigma_0$  voll auszunützen, muss der Spitzenverrundungsradius jeweils dem Systemgewicht angepasst werden. Die Wahl der Spitzenverrundung ist jedoch aus Fertigungsgründen begrenzt. Spitzenverrundungen unter  $20\text{ }\mu\text{m}$  lassen sich nur mit hohem Aufwand einwandfrei polieren (Verschlechterung des Reibungskoeffizienten und damit von  $\Gamma_K$ ). Spitzenverrundung über  $100\text{ }\mu\text{m}$  ergeben durch die notwendige Spitzenluft zuviel seitliches Spiel der Messwerkachse, welches bei manchen Messwerktypen die Eichung verdirbt bzw. zum Hängen des beweglichen Organes an den festen Teilen des Messwerkes (Magnet u. ä.) führt. Sind grössere Spitzenverrundungen notwendig, so muss das seitliche Spiel der Messwerkachse begrenzt werden. Man verwendet dann das Zapfenlager, muss dabei jedoch einen vergrösserten Reibungsfehler in Kauf nehmen.

Zur Übersicht sind in Fig. 4 die Dimensionierungsmöglichkeiten für die gebräuchlichen Materialkombinationen aufgetragen. Einer Messwerkdimensionierung mit dem Systemgewicht  $S$  und dem Drehmoment  $M_{90^\circ}$  entspricht dabei ein Bildpunkt in Fig. 4. Dieser Bildpunkt muss rechts unterhalb der gezeichneten Geraden liegen, wenn die Werkstoffbelastung  $\sigma_0$  und der zulässige Fehler  $\delta_r$  nicht überschritten werden sollen. Werden Werkstoffbelastung und zulässiger Fehler voll ausgenützt, so liegt der Bildpunkt auf der entsprechenden Geraden. Links oberhalb der Geraden ist also für die Dimensionierung «verbotenes» Gebiet.

Fig. 4 zeigt, dass für Messwerke mit schwachen Kräften (Drehmomente unter  $0,2\text{ p cm}$ ) Hartmetallspitzen verwendet werden. Im mittleren Gebiet Stahlspitzen mit Saphirpfanne. Für schwere und robuste Geräte ist gehärtete Beryllium-Bronce oder das Zapfenlager vorzusehen.

Muss das Messwerk grösseren Stössen und Beschleunigungen ausgesetzt werden, so ist eine Korrektur vorzusehen. An Stelle des Systemgewichtes ist dann die grösste auf das Spitzenlager wirkende Kraft einzu-

Fig. 5  
Gefedertes Spitzenlager  
1 Messwerkachse; 2 Abfänger; 3 Spitze; 4 Stein;  
5 Feder



setzen. Mit der Beschleunigungsgrösse  $b$  erfährt dann die Keintrahzahl die Korrektur:

$$\Gamma_K \rightarrow \Gamma_K (1 + b)^{1,5} \quad (4)$$

Die Grösse der Beschleunigung hat also grossen Einfluss auf den zulässigen Wert des Quotienten  $M_{90^\circ}/S^{1,5}$  und damit auf die erreichbare elektrische Empfindlichkeit. Die Geraden in Fig. 4 sind entsprechend nach unten zu verschieben. Die Kenntnis der später auftretenden Beschleunigungen und Stösse ist daher bei der Konstruktion des Messwerkes entscheidend wichtig. Rechnet man mit zu kleinen Stössen, so findet später eine irreversible Deformation der Spitze statt, und der Reibungsfehler wird grösser. Setzt man eine zu grosse Beschleunigungsfestigkeit an, so muss mehr Messleistung für Vollausschlag des Messwerkes aufgewendet werden.

Oft wird vom Messwerk nur verlangt, dass es bei Stössen und Erschütterungen (z. B. Transport) seine Eigenschaften behält, aber nicht in dieser Zeit gemessen wird. Für diesen Fall kann die Höhe der Beschleunigungen begrenzt werden mit Hilfe gefederter Lagersteine (Fig. 5). Die Feder wird z. B. so eingestellt, dass sie bei  $2g^3$  Beschleunigung nachgibt. Erreicht die Beschleunigung etwa  $3g$ , so tritt der Abfänger in Aktion und verhindert eine weitersteigende Belastung der Spitze. Für die Dimensionierung kann in diesem Fall mit  $b = 3$  gerechnet werden. Leider ist keine Begrenzung der seitlichen Beschleunigung möglich. Die Dimensionierung gegen seitliche Beschleunigungen ist jedoch nicht ganz so kritisch und hat einige Reserven. Bei rauen Betriebsverhältnissen jedoch ist dann ein entsprechender Punkt in Fig. 4 aufzusuchen, bei dem die Betriebssicherheit gewährleistet ist (notfalls Zapfenlager).

### 3. Spannbandlagerung

Für die Spannbandlagerung kann Ähnliches wie bei der Spitzenlagerung ausgeführt werden. Die der Keintrahschen Beziehung analoge Gleichung lautet bei der Spannbandlagerung:

$$\frac{M_{90^\circ}}{S^3} = \Gamma_K \quad (5)$$

Eine solche Beziehung für die Spannbandlagerung ist noch wenig bekannt. Die Grundzüge zur Aufstellung dieser Beziehung werden deshalb kurz angegeben und liefern gleichzeitig die Rückführung der Grösse  $\Gamma_K$  auf die Materialeigenschaften des Spannbandes und den zulässigen Fehler.

Das rückstellende Moment (Richtmoment) eines runden Drahtes erhält man aus den Grössen: Drahtdurchmesser  $d$ , Drahtlänge  $l$ , Gleitmodul  $G$  und Auslenkwinkel des Messwerkes  $\varphi$  zu:

$$D = \frac{\pi}{16} d^4 \frac{G}{l} \varphi \quad (6)$$

<sup>3)</sup>  $g$  = Erdbeschleunigung.

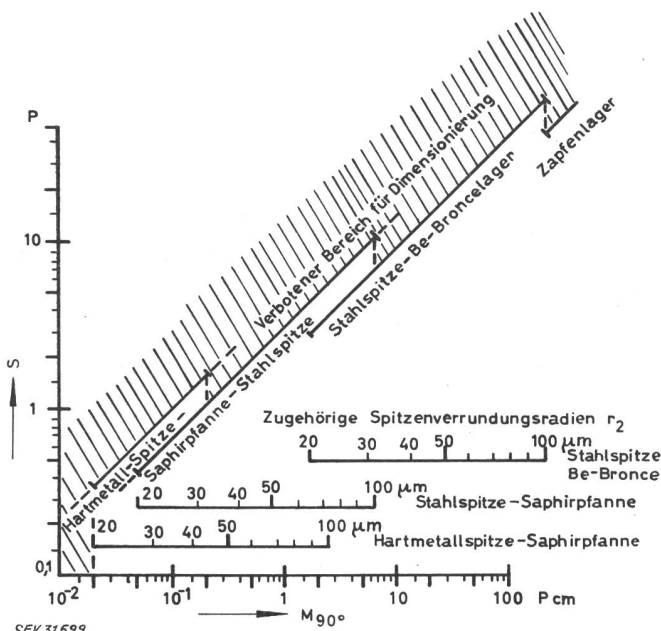


Fig. 4  
Dimensionierung der Spitzenlagerung mit verschiedenen Werkstoffen

$S$  Systemgewicht;  $M_{90^\circ}$  Drehmoment  
Reibungsfehler  $\leq 0,5\text{ ‰}$ ; Messbereich  $90^\circ$ ; ohne Beschleunigung

Das erforderliche Drehmoment des Messwerkes für Vollausschlag (hier  $\varphi = 90^\circ = \pi/2$ ) ergibt sich damit zu:

$$M_{90^\circ} = \frac{\pi^2}{32} d^4 \frac{G}{l} \quad (7)$$

Bei der Auslenkung des Messwerkes entstehen in den Spanndrähten Randspannungen (Schubspannungen), die an der Spanndrahtoberfläche am grössten sind. Ihr Wert bestimmt sich bei Vollausschlag des Messwerkes zu:

$$\tau_{90^\circ} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d}{l} G \quad (8)$$

Diese Randspannungen dürfen einen Maximalwert  $\tau_0$  nicht überschreiten, da sonst die Hysterese- und Nachwirkungsfehler zu gross werden. Aus der vorgegebenen zulässigen Fehlergrenze bestimmt sich so die Grösse  $\tau_0$  [4].

Aus den Gl. (7) und (8) lassen sich die Dimensionierungsgleichungen für Spannbanddurchmesser und -länge herleiten ( $\tau_0$  soll dabei voll ausgenutzt werden). Es ergibt sich:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8}{\pi} \cdot \frac{M_{90^\circ}}{\tau_0}} \quad (9)$$

und

$$l = \sqrt[3]{\frac{\pi^2}{8} \cdot \frac{M_{90^\circ} G^3}{\tau_0^4}} \quad (10)$$

Bei Benützung des Messwerkes mit waagrechter Achse wird das bewegliche Organ je nach der gewählten Bandspannung  $P$  etwas durchhängen. Ein zu grosser Durchhang führt ebenso wie das zu grosse seitliche Spiel der Messwerkachse bei der Spitzenlagerung zu Anzeigegehlern oder gar Berührung mit den festen Teilen des Messwerkes. Die Grösse des Durchhanges ist leicht aus Fig. 6 abzulesen:

$$x = \frac{Sl}{2P} \quad (11)$$

Die Steigerung der Bandspannung findet jedoch ihre Grenze in der maximal zulässigen Zugbelastung  $\sigma_0$  des Spanndrahtes (praktisch etwa 70 % der Reisslast). Es kann gezeigt werden, dass die zusätzliche Wirkung des Systemgewichtes gegenüber der Höhe der Bandspannung immer vernachlässigt werden kann. Die zulässige Zugbelastung wählt man so hoch wie möglich.

Die zulässige Bandspannung ergibt sich damit zu:

$$P_0 = \frac{\sigma_0 \pi d^2}{4} \quad (12)$$

Setzt man diese Beziehung sowie Gl. (9) und (10) in Gl. (11) ein, so folgt für den Durchhang:

$$x = \sqrt[3]{\frac{\pi}{64} \cdot \frac{S^3 G^3}{\tau_0^2 \sigma_0^3 M_{90^\circ}}} \quad (13)$$

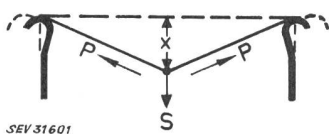


Fig. 6

Zum Durchhang eines Spannbandsystems  
P Bandspannung; S Systemgewicht; x Durchhang

Fordert man jetzt, dass der Durchhang kleiner bleibt als  $x_0$ , so wird aus Gl. (13):

$$\sqrt[3]{\frac{\pi}{64} \cdot \frac{S^3 G^3}{\tau_0^2 \cdot \sigma_0^3 M_{90^\circ}}} \leq x_0 \quad (14)$$

oder potenziert und umgestellt:

$$\frac{M_{90^\circ}}{S^3} \geq \frac{\pi}{64} \cdot \frac{G^3}{\tau_0^2 \cdot \sigma_0^3 \cdot x_0^3} \quad (15)$$

Setzt man die rechte Seite der Gl. (15) gleich  $\Gamma_S$ , so ist dies die zu Beginn dieses Abschnittes postulierte Beziehung Gl. (5). Die Gütezahl der Spannbandlagerung ist damit auf die Materialeigenschaften ( $G; \sigma_0; \tau_0$ ) und die Genauigkeitsanforderungen an das Messwerk ( $\tau_0; x_0$ ) zurückgeführt:

$$\Gamma_S = \frac{\pi}{64} \cdot \frac{G^3}{\tau_0^2 \sigma_0^3 x_0^3} \quad (16)$$

Kleine zu fordernde Werte für  $\Gamma_S$  und damit hohe elektrische Empfindlichkeit erzielt man mit kleinem Gleitmodul  $G$ , hoher maximaler Schubspannung  $\tau_0$  (dies bedeutet grosse zulässige Hysterese- und Nachwirkungsfehler), grosser zulässiger Zugbeanspruchung  $\sigma_0$  und grossem zulässigen Durchhang  $x_0$ .

Walzt man den Spanndraht zu einem Band mit dem Breiten-Dicken-Verhältnis  $\gamma$ , so erreicht man eine erhebliche Verbesserung des Wertes  $\Gamma_S$ . Es gilt nämlich genähert für die Gütezahl mit Spannband:

$$\Gamma_S = \Gamma_S \frac{8,5}{\gamma^2} \quad (17)$$

Ursache hierfür ist im wesentlichen die grössere Zugbeanspruchung eines Bandes im Vergleich zum Draht mit gleichem Richtmoment. Einer beliebigen Vergrösserung des Seitenverhältnisses  $\gamma$  sind jedoch durch die Walztechnik Grenzen gesetzt. Da die Walzendurchmesser nicht beliebig klein gemacht werden können, ist das Walzen bei den hier in Frage kommenden Drahtabmessungen mehr ein «Quetschen», als ein Walzen. Auch treten bei hohen Seitenverhältnissen an den Rändern des Bandes kleine Risse und Kerben auf, welche die maximal zulässige Zugbelastung  $\sigma_0$  herabsetzen und so keine Verbesserung des Wertes  $\Gamma_S$  mehr bringen. Schliesslich wird der Effekt der Abhängigkeit des Richtmomentes von der Bandspannung bei wachsendem Seitenverhältnis immer stärker und macht einen Teil der Verbesserung in Gl. (17) wieder zunichte.

Bei der Untersuchung der Materialwerte erweisen sich Pt-Ni und Cu-Be<sub>2</sub> als günstigste Bandmaterialien. Auf diese Einzelheiten kann hier nicht mehr näher eingegangen werden.

Drei weitere Fertigungsgrenzen beschränken (ähnlich wie die Begrenzung der Verrundungsradien bei der Spitzenlagerung) den Geltungsbereich von Gl. (15):

- a) Die Bandlänge  $l$  kann nicht beliebig klein gemacht werden, da zu kurze Bänder in ihrer Länge schlecht reproduzierbar und schwer einzubauen sind. Als untere Grenze gilt etwa  $l = 5$  mm.
- b) Der Drahtdurchmesser  $d$  lässt sich nicht viel unter  $10 \mu\text{m}$  bringen. Bei kleineren Durchmessern steigen die Fertigungsschwierigkeiten enorm an.
- c) Die Bandspannung  $P$  lässt sich nicht über etwa 200 p steigern. An die Zugfestigkeit des ganzen beweglichen Organes werden dann zu grosse Anforderungen gestellt. Zudem verursachen die dann notwendigen Versteifungen zusätzliches Gewicht, welches nicht zur Drehmomenterzeugung beiträgt und damit eine Verschlechterung der Grösse  $\Gamma_S$  verursacht.

Fig. 7

### Dimensionierung der Spannbandlagerung mit Pt-Ni-Band ( $r = 10$ )

$S$  Systemgewicht;  $M_{90^\circ}$  Drehmoment  
Hysteres- und Nachwirkungsfehler  $\leq 0,5\%$ ;  
Messbereich  $90^\circ$ ; ohne Beschleunigung

Die Begrenzungen für Drahtdurchmesser und Spannbandlänge verursachen eine Beschränkung der Realisierbarkeit von Gl. (15) nach kleinen Drehmomenten hin. Die Begrenzung der Bandspannung liefert eine Schranke zu grossen Drehmomenten.

In Fig. 7 ist analog zu Fig. 4 die Dimensionierung für die Spannbandlagerung dargestellt. Zum Vergleich sind die Geraden für die Spitzenlagerung mit eingezeichnet. Wieder entspricht einer Messwerkdimensionierung mit dem Systemgewicht  $S$  und dem Drehmoment  $M_{90^\circ}$  ein Bildpunkt in Fig. 7, der rechts unterhalb der Geraden liegen muss, wenn die Materialbeanspruchungen und der zulässige Fehler nicht überschritten werden sollen. Bei voller Ausnutzung der Maximalwerte (optimale Dimensionierung) liegt der Bildpunkt auf der zugehörigen Geraden. Links oberhalb der Geraden ist «verbotenes» Gebiet für die Dimensionierung.

Fig. 7 zeigt, dass bei Verwendung von Spanndraht das kleinste notwendige Drehmoment bei  $0,5$  [mp·cm] liegt und volle Materialausnutzung bis etwa  $10$  [mp·cm] möglich ist. Bei Verwendung von Spannband liegt die Grössenordnung ähnlich, jedoch ist ein grösseres Systemgewicht möglich.

Volle Ausnutzung der Materialdaten und Genauigkeitsforderung setzt voraus, dass der Hysteres- und Nachwirkungsfehler nicht durch die Befestigung der Spannbander vergrössert wird. In der Fertigung ist die Einspannung des Spannbandes deshalb einer der wichtigsten Arbeitsgänge. Gut bewährt hat sich ein freier Ablauf des Bandes über einen definierten Radius mit Sicherung gegen seitliches Verrutschen. Fig. 8 zeigt einige Befestigungsarten des Spannbandes.

Bei wirkenden Beschleunigungen in Richtung der Messwerkachse ist das Spannbandsystem sehr robust.

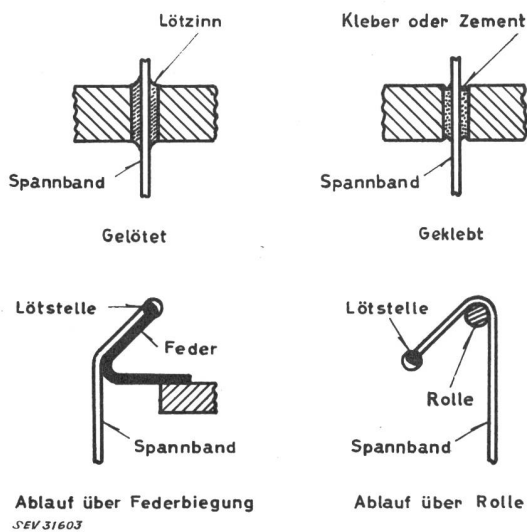
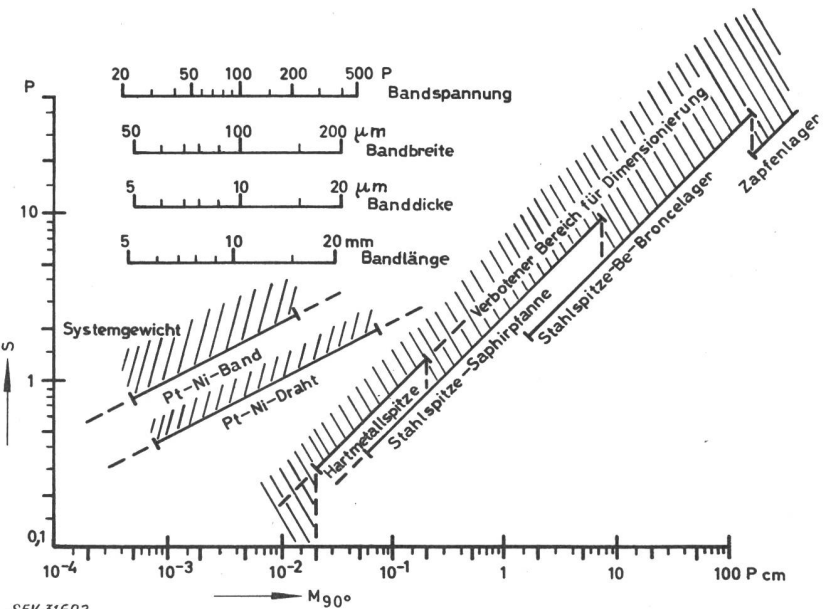


Fig. 8

Verschiedene Befestigungsarten des Spannbandes



Da das Systemgewicht gegenüber der Bandspannung klein ist, sind grosse Beschleunigungen nötig (50g und mehr) um die Bandbelastung bis an die Reissgrenze zu steigern. Wichtig ist das kleine Gewicht der Spannfedern. Bei grosser Masse der Spannfeder kommen Koppelschwingungen vor, welche die Bandbelastung stark vergrössern. Einen zu grossen Hub der Federn begrenzt man wieder durch Abfänger (Fig. 3).

Quer zur Messwerkachse wirkende Beschleunigungen vergrössern den Durchhang. Darf bei wirkender Beschleunigung  $b$  der geforderte maximale Durchhang  $x_0$  nicht überschritten werden, so erfährt die Gütezahl  $\Gamma_S$  die Korrektur:

$$\Gamma_S \rightarrow \Gamma_S (1 + b)^3 \quad (18)$$

Die Gütezahl nimmt also mit wachsender Beschleunigung weit schneller ab (Exponent 3) als die Keinzahl  $\Gamma_K$  (Exponent 1,5). Wird bei wirkender Beschleunigung nicht gemessen, so kann durch Abfänger den seitliche Durchhang begrenzt werden. An Stelle von  $b$  wird dann in Gl. (18) die Beschleunigungsgrenze  $bg$  bei Einsetzen der Abfänger eingesetzt.

Bei Beschleunigungen treten ausserdem gern Nickschwingungen auf, die jedoch praktisch zu beseitigen sind, wenn der Schwerpunkt des Messwerkes sowohl in der Messwerkachse (Balance) als auch in der Mitte zwischen den beiden gleichlangen Spannbandern liegt und die Nickschwingungen durch Ölbuchsen nach Art der Fig. 9 gedämpft werden [5].

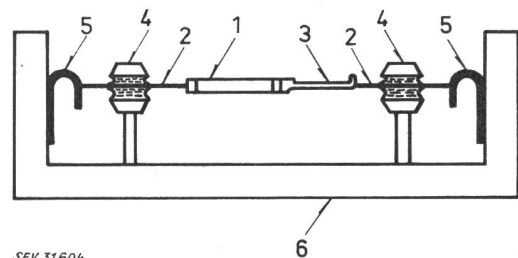


Fig. 9

Schematische Darstellung eines Drehpulspegelsystems mit Dämpfung der Querschwingung

1 Drehpule; 2 Spannband; 3 Spiegel mit Halterung; 4 Buchse mit Öl gefüllt (Öl hält durch Oberflächenspannung); 5 Spannfeder; 6 Systemträger

Trotz hoher Stossfestigkeit des Drehspulgerätes sind starke Vibrationen kritisch. Hier treten noch wenig geklärte Querbeanspruchungen des Spannbandes auf, welche zum Bandriss führen können.

Bis jetzt war durchwegs mit einem ausgenützten Ausschlagwinkel von 90° gerechnet worden. Lichtzeigergeräte kommen jedoch meist mit Winkelbereichen von 30° und weniger aus. Für die Gütezahl bei der Spannbandlagerung gilt in Näherung:

$$\frac{M_{90^\circ}}{S^3} \geq \Gamma_S \left( \frac{2\varphi}{\pi} \right)^2 \quad (19)$$

d. h. bei kleinen Winkelbereichen nimmt die Gütezahl stark ab. Bei der Spitzenlagerung gilt, wenn man ebenfalls den Fehler auf Vollausschlag bezieht:

$$\frac{M_{90^\circ}}{S^{1,5}} \geq \Gamma_K \left( \frac{2\varphi}{\pi} \right) \quad (20)$$

Hier ist nur eine Abnahme in der ersten Potenz festzustellen.

#### 4. Vergleich zwischen Spitzen- und Spannbandlagerung

Zusammengefasst und verglichen liefern die Dimensionierungsgesetze für Spitzen- und Spannbandlagerungen folgende Ergebnisse:

a) Für normale Benützung, Stossfestigkeit und Vibrationsfestigkeit können mit beiden Konstruktionen etwa gleichwertige Geräte hergestellt werden.

b) Bei hochempfindlichen Geräten (kleiner Eigenverbrauch) führt die Spannbandlagerung zu besseren Ergebnissen (kleines notwendiges Drehmoment). Man kommt dabei zu kurzen und dünnen Spannbandern.

c) Messgeräte, die unter rauen Betriebsbedingungen (Fahrzeuge u. ä.) arbeiten müssen, werden mit Spitzen ausgerüstet. Ursache ist die starke Verschlechterung der Spannbandgütezahl durch Beschleunigungen [s. Gl. (4) und (18)] und die noch wenig geklärte Anfälligkeit des Spannbandes bei Querbeanspruchungen.

d) Bei kleinen Drehwinkeln (Lichtzeigergeräte) wird die Spannbandlagerung besser. Für 270°-Messwerke ist die Spitzenlagerung im Vorteil.

#### Literatur

- [1] Keinath, Gg.: Gütefaktor der beweglichen Organe von Messgeräten. ATM Lfg. 27 (September 1933), Bl. J 011-1, S. T 121.
- [2] Merz, L.: Physikalische Grundlagen des mechanischen Gütefaktors in Spitzen gelagerter Messgeräte. ATM Lfg. 168 (Januar 1950), Bl. J 011-2, S. T 3...T 4.
- [3] Bubert, J.: Betrachtungen über den Keinath-Gütefaktor, die Einstellsicherheit und den Reibungsfehler bei elektrischen Messgeräten. Feinwerktechn. 65 (1961) 7, S. 235...242.
- [4] Samal, E.: Statik der Spannbandlagerung. ATM Lfg. 273 (Oktober 1958), Bl. J 013-6, S. 213...216.  
Samal, E.: Dynamik der Spannbandlagerung. ATM Lfg. 277 (Februar 1959), Bl. J 013-7, S. 31...34.  
Samal, E.: Einstell- und Nullpunktsicherheit von Band- und Spannbandlagerungen I. ATM Lfg. 279 (April 1959), Bl. J 013-8, S. 79...82. II. ATM Lfg. 282 (Juli 1959), Bl. 013-9, S. 149...150.
- [5] Götze, S.: Hat das Drehspulgalvanometer noch eine Bedeutung? Sonderheft Interkama 1957, Hartmann & Braun AG, Frankfurt/Main, S. 37...40.

Adresse des Autors:

S. Götze, Diplomphysiker, Camille Bauer Messinstrumente AG, Wohlen (AG).

## Mathematische Auslegung der EDS-Werte

Von G. Dassetto, Zürich

621.315.1.056 : 531.391.1

Nach Erklärung des Sinnes der «Everyday Stress» und einer kurzen Darstellung der Arbeiten einer sich nur mit dieser Frage beschäftigenden Arbeitsgruppe der CIGRE wird versucht, eine mathematische Grundlage über die aus statistischen Erhebungen bei zahlreich in Betrieb stehenden Freileitungen erhaltenen Ergebnisse abzuleiten. Dies führt zur Anwendung einer Konstante  $k = 0,55$ , durch welche die praktischen Ergebnisse bestätigt werden und sich Schlussfolgerungen allgemeiner Tragweite ergeben.

Après avoir expliqué la signification de «Everyday Stress» et présenté un aperçu des travaux faits par un Groupe de Travail de la CIGRE, qui s'occupe uniquement de ce problème, on essaie de donner une interprétation mathématique aux résultats obtenus par des recherches statistiques faites sur de nombreuses lignes en exploitation. C'est ainsi que l'on est amené à introduire une constante  $k = 0,55$ , qui permet de confirmer très exactement ces résultats pratiques et de formuler des conclusions de portée générale.

### 1. Everyday Stress (EDS)

Unter «Everyday Stress» (EDS) versteht man die höchstzulässige Beanspruchung, welche an einem Leiter bei der Temperatur, die in einem bestimmten Land während der längsten Zeit des Jahres herrscht, vorkommt, ohne dass Schäden an den Leitern durch Schwingungen auftreten. Der EDS-Wert wird in Prozentsen der Leiterbruchlast ausgedrückt.

Auf Grund statistischer Erhebungen, die sich auf eine grosse Anzahl im Betrieb stehender Freileitungen erstrecken, hat die Arbeitsgruppe EDS des Studienkomitees Nr. 6 der CIGRE<sup>1,2)</sup> im Jahre 1959 die für verseilte, geschützte oder ungeschützte Leiter aus Aluminium, Aldrey, Stahlaluminium und Kupfer zu emp-

fehlenden EDS-Werte festgelegt, die dann im Jahre 1961 bestätigt wurden. Diese Werte sind in Tabelle I angegeben.

Von der Arbeitsgruppe EDS des Studienkomitees Nr. 6 der CIGRE empfohlene EDS-Werte

Tabelle I

Material der Leiter	Unge- schützte Leitungen %	Leitungen mit Armour rods %	Leitungen mit Schwin- gungsdämp- fern %	Leitungen mit Armour rods und Schwingungs- dämpfen %
Aluminium	17	—	—	—
Aldrey	18	—	26	—
Stahlaluminium	18	22	24	24
Kupfer	26	—	—	—

Isolatoren (Typ);

Maste (Baustoff);

Aufbau, Durchmesser und Querschnitt der Leiter;

Montagespannung und -Temperatur;

Typ, Gewicht und Hauptabmessungen der Tragklemmen;

Tatsächlicher EDS-Wert;

Schutzumwicklungen (Band oder Armour rods<sup>3)</sup>);

Schwingungsdämpfer;

Eventuell eingetretene Schwingungsbeschädigungen;

Topographische Hinweise.

<sup>3)</sup> Armour rods = bikonische Aluminiumdrähte, die um den Leiter bei den Aufhängestellen eingebaut werden, um seinen Widerstand gegen Wechselbiegefestigkeit zu erhöhen.

<sup>1)</sup> Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques.

<sup>2)</sup> Bis Mai 1961 verfügte diese Arbeitsgruppe u. A. über Angaben von

274 Kupferleitungen (wovon 9 mit Hohlseilen) . . . 23 400 km

421 Stahlaluminiumleitungen . . . 95 700 km

40 Aluminiumleitungen . . . 2 300 km

81 Aldrey-Leitungen . . . 2 200 km

816 Leitungen . . . 123 600 km

die eingereicht waren nach:

Land;

Baujahr;

Länge der Leitung und der mittleren Spannweite;