

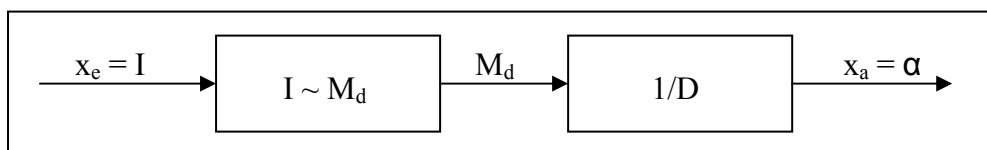
Praktikum MAT Vorbereitung Bewegungsmessung

Meßmethoden

- analoge Methode: innerhalb eines Meßbereiches wird jedem Wert der Meßgröße (Eingangsgröße) kontinuierlich ein Wert der Ausgangsgröße zugeordnet (Federwaage) (Dies soll zumindest im idealisierten Fall gelten ohne Berücksichtigung eventuell vorhandener Hysterese (*phys. das Zurückbleiben einer Wirkung hinter der sie verursachenden veränderlichen Kraft.*) - und Reibungserscheinungen)
- digitale Methode: es wird ausgezählt, wie oft ein Meßschritt in der Meßgröße (Eingangsgröße) enthalten ist (Volumenzähler). Dieser Wert wird als Ziffer oder codiert ausgegeben.
 - Definition Buch Fertigungsmeßtechnik H.J.Warnecke:
Ein Meßverfahren ist dann digital, ein Meßgerät digital arbeitend, wenn das Meßsignal am Ausgang innerhalb eines vorgegebenen Bereiches eine begrenzte Anzahl verschiedener Werte annehmen kann, auch wenn die Eingangsgröße kontinuierlich ihren Wert ändert.
- Die Unterscheidung zwischen analog und digital bezieht sich nur auf des Meßverfahren und hat nichts mit der Ausgabe der Werte zu tun.

Ausschlagmethode

- zur Spannungs und Strommeßung dienen Meßgeräte:
 - mit einer beweglichen, stromdurchflossenen Spule im Magnetfeld: wie Drehspulmeßwerk (Ausschlag proportional I oder U, lin. Skale) ...
- die von einem Aufnehmer in ein Meßsignal umgeformte Meßgröße wird in einer Kette von Baugliedern in ein zur Ausgabe geeignetes Signal umgeformt.
- Der Signalflußplan ist eine Wirkungskette (Drehspulinstrument)



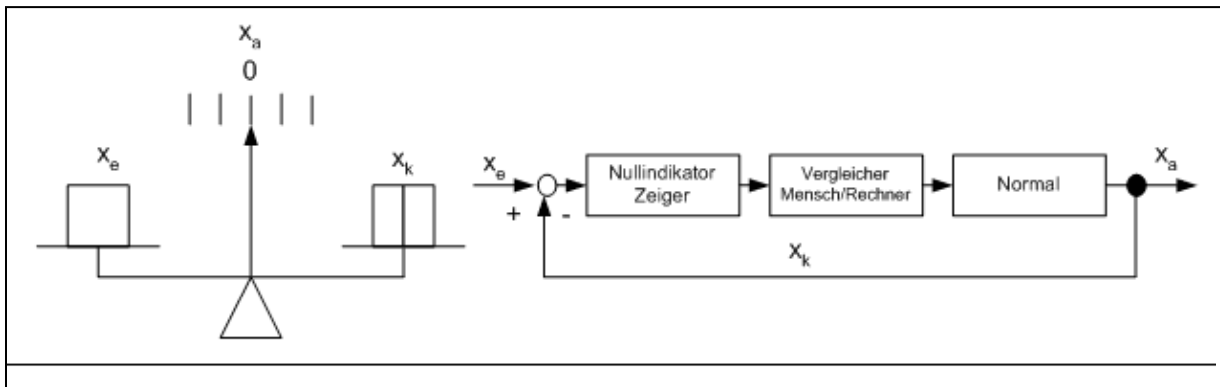
$I >$ Stromänderung; $M_d >$ Drehmomentänderung; $D >$ Rückstelldrillkonstante des Drehspulmeßsystems; $\alpha >$ Winkeländerung

- hierbei handelt es sich um Schreiber mit direkt anzeigendem Meßwerk:
 - das Meßsystem muss robust ausgelegt sein, um die Reibung zwischen Papier und Stift zu überwinden, außerdem ist für den Stift eine Geradföhrung nötig. Beim Punktschreiber wird der Stift nur in bestimmten Intervallen bewegt .

Nullabgleich- oder Kompensationsmethode

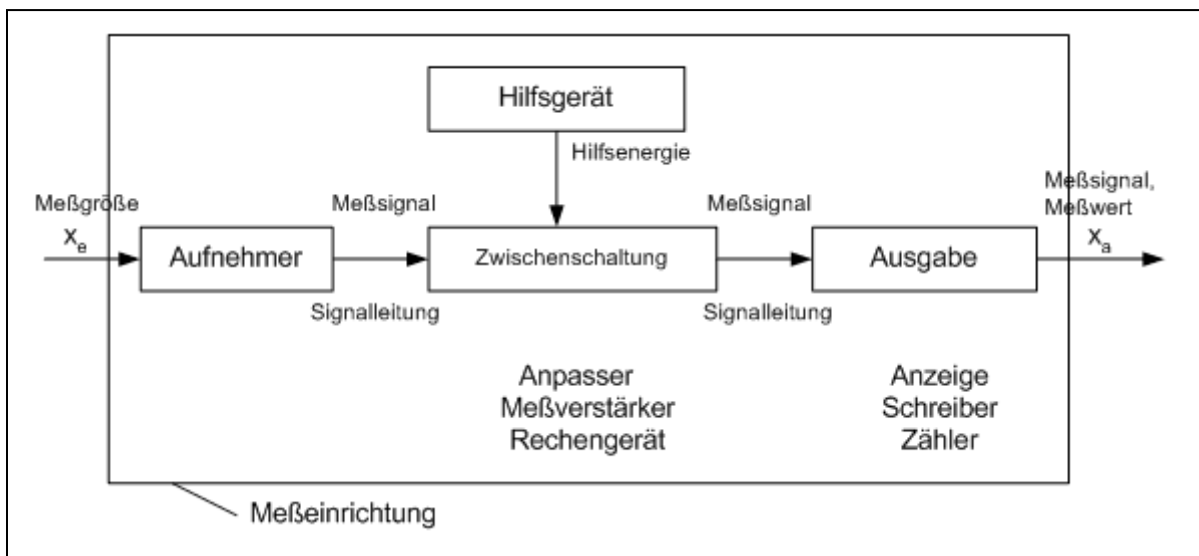
- der Eingangsgröße wird eine gleichartige Größe entgegengeschaltet und von Hand oder automatisch abgeglichen (Spannungskompensator). Der Signalflußplan ist ein Regelkreis. Der vom Ausgang zum Eingang zurückzuführende Signalflußweg heißt Rückführung oder Rückkopplung.

(*Kompensator Elektrot. Messeinrichtung zur Bestimmung einer unbekanntes Spannung durch Vergleich mit einer bekannten*)



Aufbau einer Meßeinrichtung

- eine Meßeinrichtung ergibt sich aus einer Verknüpfung von Meßgeräten
 - i.a. wird die zu messende Größe in einer Meßeinrichtung von verschiedenen Meßgeräten aufgenommen, umgewandelt und ausgegeben.



- der Aufnehmer als erstes Meßgerät der Meßeinrichtung nimmt die zu messende Größe auf und gibt ein Meßsignal ab. Je nach Signalstruktur des Ausgangssignals ist der Aufnehmer ein Meßumformer oder Meßumsetzer.

- der Ausgeber einer Meßeinrichtung ist das Meßgerät, daß die gemessene Größe entweder direkt als Anzeige oder indirekt ausgibt, d.h. in nicht unmittelbar erkennbarer Form (z.B.: Magnetband oder Lochstreifen)

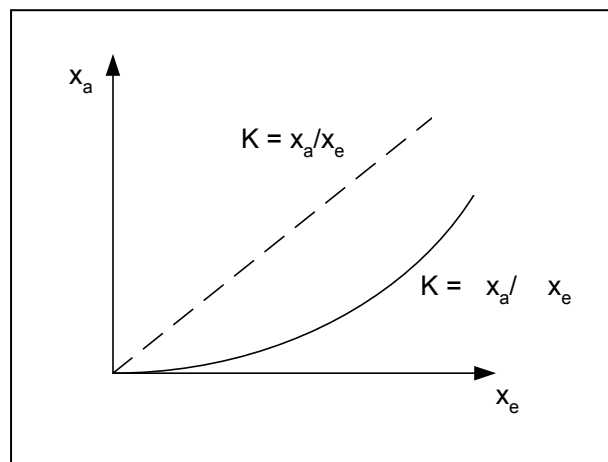
- als Hilfsgeräte werden die Geräte bezeichnet, die für die meßtechnischen Eigenschaften der Meßeinrichtung nicht entscheidend sind (z.B.: Netzgeräte)

Einteilung der Übertragungsglieder nach Signalstruktur

- Umformer:** Ein- und Ausgangssignale (x_e und x_a) sind Analogsignale
Einheitsumformer: (Transmitter) haben genormte Ausgangssignalbereiche (z.B.: 4 bis 20 mA)
Wandler: haben am Ein- und Ausgang dieselbe physikalische Größe (z.B.: Druckwandler)
Umsetzer (Converter): haben am Ein- und Ausgang verschiedene Signalstruktur

Statistische Kennzeichnung der Übertragungsglieder

- die statistische Kennlinie ist die graphische oder analytische Darstellung der Ausgangsgröße x_a in Abhängigkeit von der Eingangsgröße x_e im eingeschwungenen Zustand.

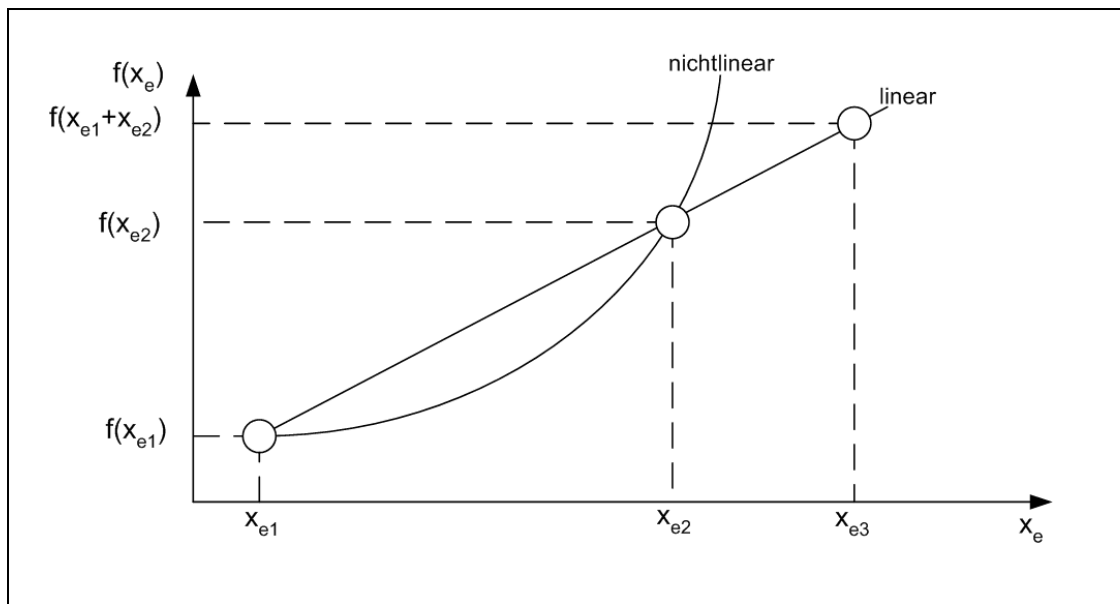


Empfindlichkeit: Übertragungsfaktor $K = x_a/x_e$

- im Meßbereich werden die vereinbarten Fehlergrenzen nicht überschritten
- als Bezugswert für den relativen Fehler dienen: der Meßbereichsendwert, die Differenz zwischen Ende und Anfang des Meßbereiches, der richtige Wert am Arbeitspunkt oder das Nennmaß (bei Maßverkörperung)
- die Genauigkeitsklasse ist z.B. der relative Fehler bezogen auf den Meßbereichsendwert
- der Linearitätsfehler einer Kennlinie ist die Abweichung der gemessenen Kennlinie von der Sollkennlinie (Gerade) an auszuweisenden Stellen (z.B.: Meßbereichsendwert)
- der Ansprechwert ist der Mindestwert der Änderung der Eingangsgröße, der eine nutzbare Änderung der Ausgangsgröße bewirkt. Bei mechanisch integrierenden Meßgeräten (z.B.: Volumenzähler) heißt die Größe Anlaufwert.

Dynamische Kennzeichnung von Übertragungsgliedern

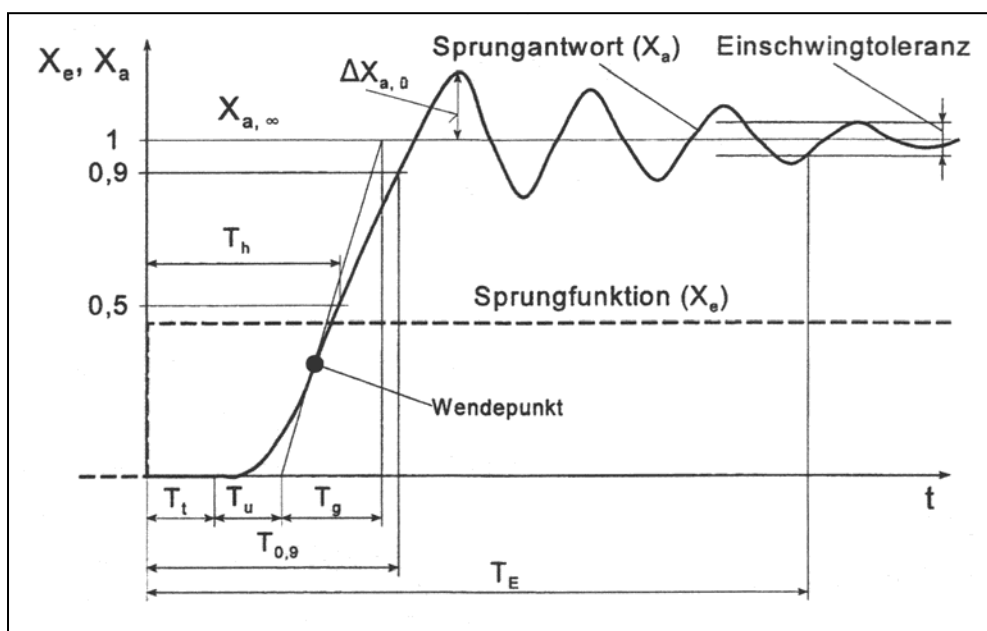
- zur dynamischen Kennzeichnung werden sprung-, impuls-, anstiegs- oder sinusförmige Änderung der Eingangsgröße verwendet, deren Antworten (Ausgangsverläufe) bei linearen Gliedern ineinander überführbar sind.
- ein Übertragungsglied heißt linear, wenn das Superpositionsprinzip gilt.
(*Superpositions: wirken mehrere Schwingungszustände gleichzeitig, so addieren sich ihre Wirkungen*)



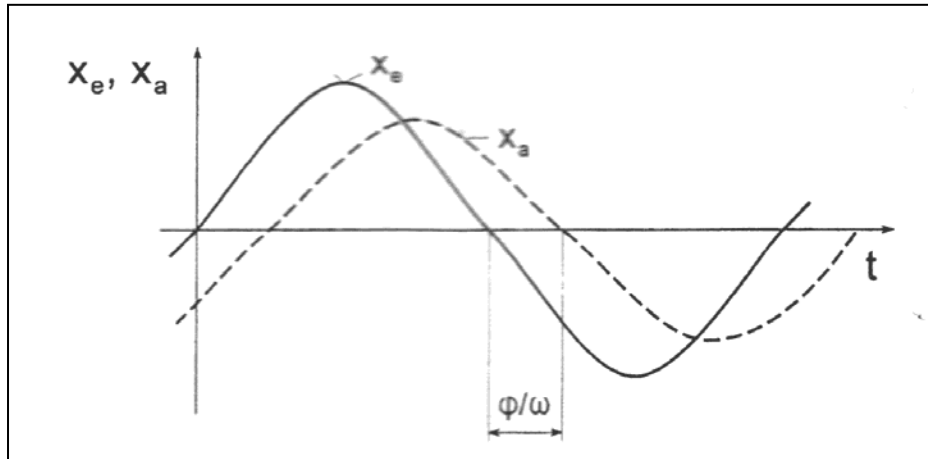
$x_{a1} = f(x_{e1})$ und $x_{a2} = f(x_{e2})$ dann ist $x_{a1} + x_{a2} = f(x_{e1} + x_{e2})$

Antwortfunktion (Zeitbereich)

- die Sprungantwort ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsgröße nach einer sprunghöhenförmigen Änderung der Eingangsgröße.



- die Amplitude der größten Überschwingung ist die Überschwingweite $\Delta x_{a,u}$
- die für die Charakterisierung wichtige Einschwingzeit T_E (Einstellzeit) ist die Zeit, nach der Übergangsfunktion innerhalb einer vorgegebenen Grenze (Einschwingtoleranz) von $\pm 5\%$ bleibt
- weitere Kennwerte: Tonzeit T_t Verzugszeit T_u Ausgleichszeit T_g Halbwertzeit T_h
- Übergangsfunktion $h(t)$ ist die durch Quotientbildung auf die Sprunghöhe der Eingangsgröße bezogene Sprungantwort.
- die Sinusantwort ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsgröße bei einem sinusförmigen Verlauf der Eingangsgröße im eingeschwungenen Zustand

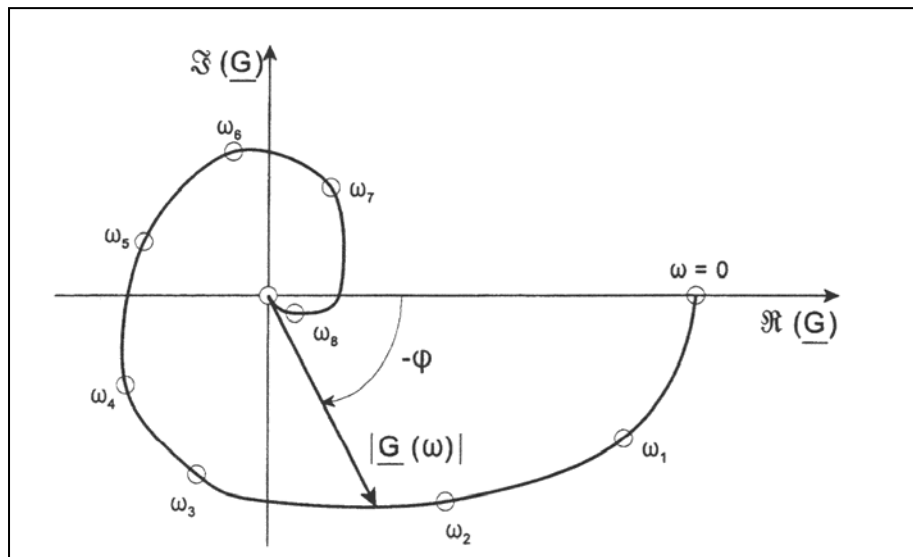


Frequenzkennlinien und Grenzfrequenz (Frequenzbereich)

- zur Ermittlung der Frequenzkennlinie wird ein sinusförmiges Eingangssignal mit konstanter Amplitude und einstellbarer Frequenz angelegt
- der komplexe Frequenzgang oder die Übertragungsfunktion $G(j\omega) = G(\omega)$ ist das Verhältnis der komplexen Amplitude des Ausgangssignales $\underline{x}_a = \hat{x}_a \cdot e^{j\varphi_a}$ zur Amplitude des Eingangssignales $\underline{x}_e = \hat{x}_e \cdot e^{j\varphi_e}$ im eingeschwungenen Zustand

$$\underline{G}(\omega) = \frac{\underline{x}_a}{\underline{x}_e} = \frac{\hat{x}_a}{\hat{x}_e} \cdot e^{j(\varphi_a - \varphi_e)} = |\underline{G}(\omega)| \cdot e^{j\varphi} = \Re(\underline{G}) + j\Im(\underline{G})$$

- die Ortskurve der Übertragungsfunktion (für $\varphi_e = 0$)



- der Amplitudengang ist der Betrag der Frequenzganges $|G(\omega)| = \frac{\hat{x}_a}{\hat{x}_e} = \sqrt{R^2(G) + T^2(G)}$

- der Phasengang $\arg G(\omega) = \varphi_a - \varphi_e = \arctan \frac{T(G)}{R(G)}$

- die obere Grenzfrequenz f_{go} ist die Frequenz, bis zu der der Amplitudengang einen vorgegebenen Toleranzbereich nicht über bzw. unterschreitet. In Meßtechnik beträgt Toleranzbereich $\pm 10\%$.
- für Meßverfahren mit Trägerfrequenz $f_{tr} > f_{go} = 1/5 f_{tr}$
- Verzögerungsglieder Studienanleitung ab Seite 45

Bestandteile einer Meßeinrichtung

Meßwertaufnehmer

OHMScher Widerstand $R = \rho * l / A > x_e = I, x_a = R(I)$ für Weg- und Winkelpotentiometer

OHMScher Widerstand > überhitzter Draht $x_e = \text{Abkühlung}, x_a = R$ für

Geschwindigkeitsmessung

Kapazität (Plattenkondensator) $> x_e = \Delta\mu, x_a = L$ für Wegmessung

Induktion $U = -w * d\phi / dt > x_e = \text{Bewegung eines Magneten oder Spule}, x_a U$ für

Geschwindigkeitsmessung

Piezoelektrizität $> x_e = \text{Kraft } F, x_a = \text{Ladung } Q$ für Beschleunigungsmessung

(Piezoelektrizität: durch Druck entstehende Elektrizität an der Oberfläche bestimmter Kristalle)

Bewegungsmessung

Bewegungsgrößen

- zur Beschreibung der translatorischen Bewegung von Maschinenteilen sind die Meßgrößen Weg $x(t)$, Geschwindigkeit $\dot{x}(t) = v(t)$, Beschleunigung $\ddot{x}(t) = a(t)$ geeignet
- bei periodischen Bewegungen Frequenz $\omega = 2\pi f$ und Phase α
- zur rotatorischen Bewegung $\varphi(t)$, $\dot{\varphi}(t)$ und $\ddot{\varphi}(t)$ benutzt

Bewegungsgleichung für harmonische Schwingung

$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = 0$ ($m = \text{Masse}, b = \text{Dämpfungskonstante}, c = \text{Federkonstante}$)

- Eigenfrequenz $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$

- Abklingkonstante $\delta = \frac{b}{2m} = \omega_0 * D$

$D = \text{Lehrsches Dämpfungsmaß}$

$m\ddot{x} + \delta 2m\dot{x} + \omega_0^2 mx = 0 \quad | / m / \omega_0^2$

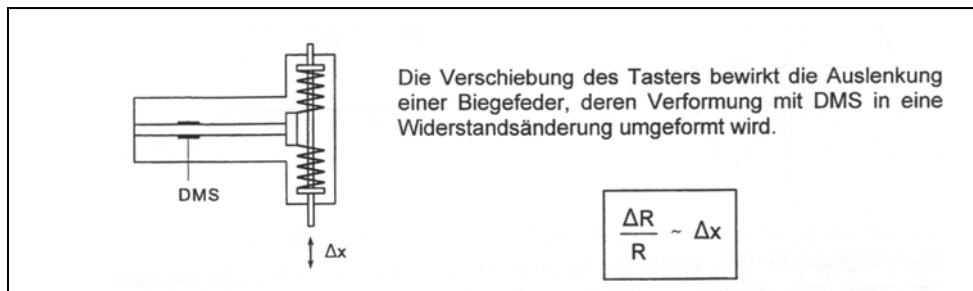
$$\frac{\ddot{x}}{\omega_0^2} + \frac{\delta 2\dot{x}}{\omega_0^2} + x = 0$$

$$\frac{\ddot{x}}{\omega_0^2} + \frac{2D\dot{x}}{\omega_0} + x = 0$$

.. weiterführend Studienanleitung Seite 152

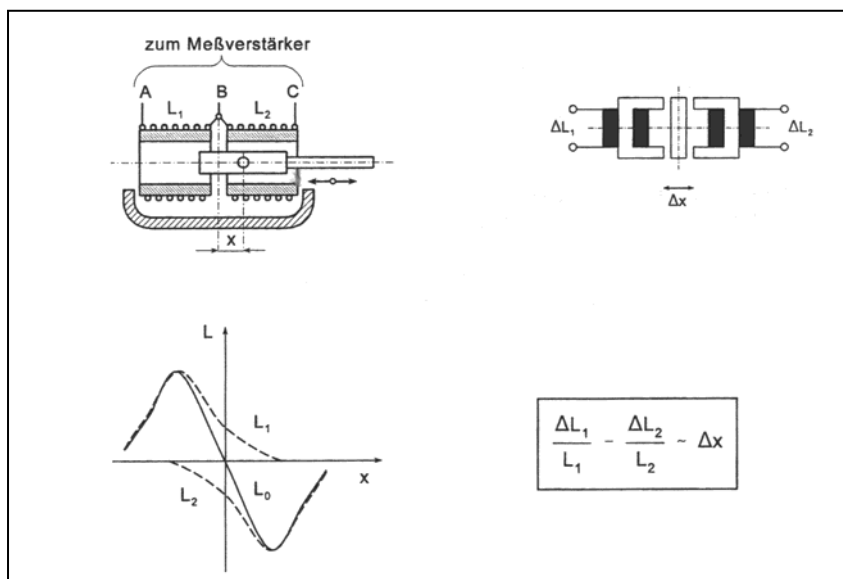
Meßsensoren

- mechanische Feinzeiger
- Wegsensoren mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) für kleine und langsame Wegänderungen



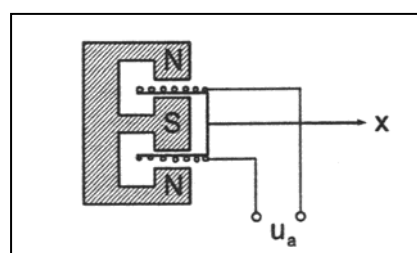
Induktive Wegsensoren

- ändern ihre Induktivität (L) bei Verschiebung (Δx) eines Tauchankers oder eines Querankers
- der Tauchanker kann als Taster (berührende Messung) ausgeführt oder mit dem Meßobjekt verbunden werden (berührungsfreie Messung)
- Induktive Wegsensoren mit Queranker eignen sich für berührungs- und rückwirkungsfreie Abstandsmessungen an ferromagnetischen Teilen



Geschwindigkeitssensoren

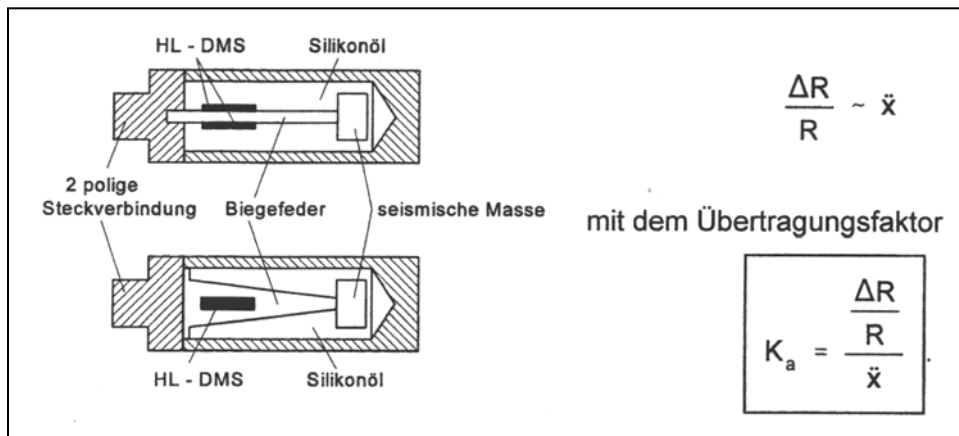
- bei elektrodynamischen Geschwindigkeitssensoren (Induktionsprinzip) wird in einer im permanenten Magnetfeld bewegten Spule eine Spannung $u_a - \dot{x}$ induziert
- auch die Bewegung eines Magneten in einer Spule wird verwendet



Beschleunigungssensoren

Biegeschwinger mit Dehnungsmeßstreifen

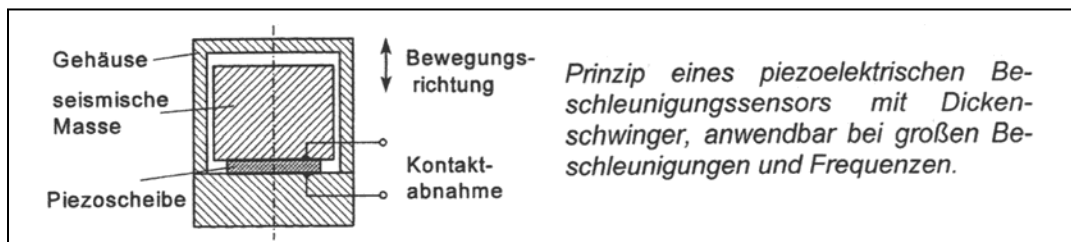
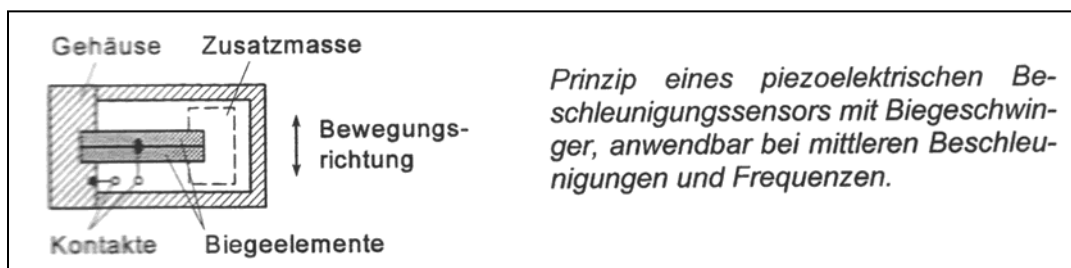
- wandeln die auf sie wirkende Beschleunigung über eine Masse (seismisch) in eine Widerstandsänderung der DMS um
- sie sind für relativ geringe Beschleunigungen bei niedriger Frequenz anwendbar
- mit unterer Grenzfrequenz $f_{gu} = 0$ gestatten sie Messung zeitlich konstanter Beschleunigungen



Piezelektrischen Beschleunigungssensoren

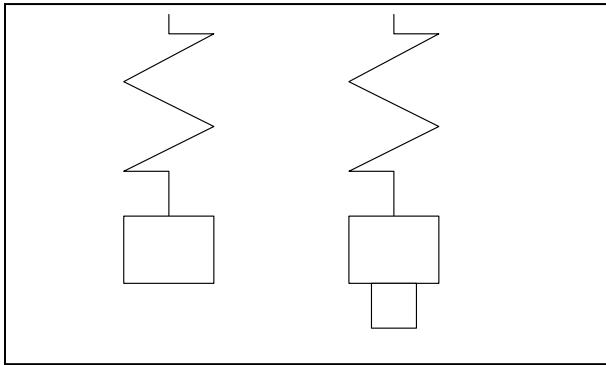
- wird die Beschleunigung $\ddot{x}(t)$ über die Trägheitskraft ($m_{\text{seismisch}} \cdot \ddot{x}(t)$) in eine elektrische Ladung $Q(t)$ umgeformt
- nach Aufbau lassen sich unterscheiden: Dickenschwinger und Biegeschwinger
- Übertragungsfaktor

$$K_a = \frac{u_L}{a} \text{ mit } u_L = \frac{Q}{C_i}$$



Vorbereitungsaufgaben

Aufgabe 1) a)



Formel harmonische Schwingung

$$0 = m\ddot{x} + b\dot{x} + cx$$

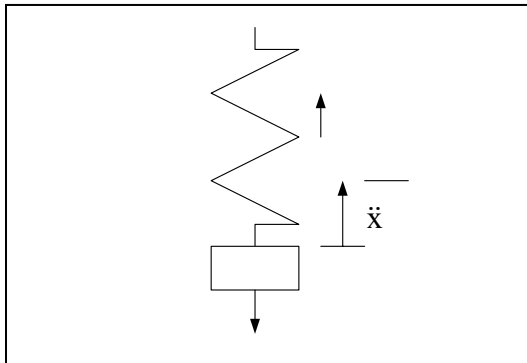
$$0 = \ddot{x} + \frac{c}{m}x$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{15\text{kg} \cdot \text{m}}{2500\text{N}}} = 0,07745967\text{s}^{-1}$$

$$\omega_{02} = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{15\text{kg} + 0,143 \cdot \text{m}}{2500\text{N}}} = 0,07782802\text{s}^{-1}$$

Änderung um 0,47%

b)



$$-m\ddot{x} - mg + c(x_v - x) = 0$$

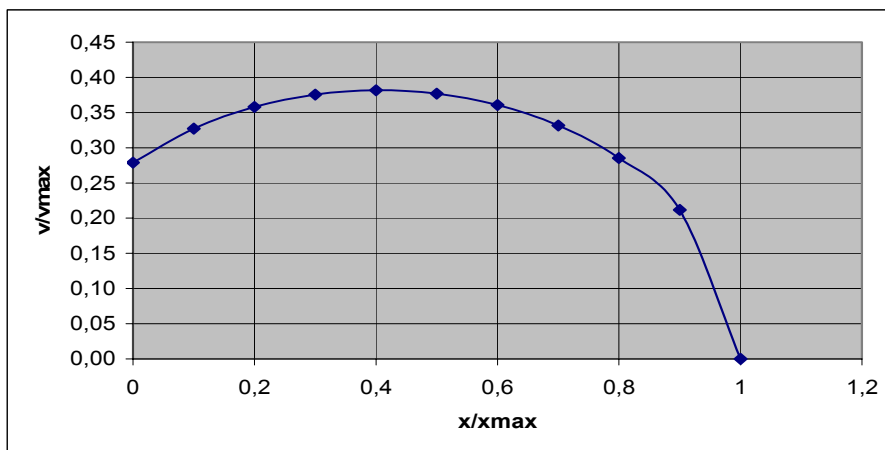
$$-\ddot{x} - g + \frac{c}{m}(x_v - x) = 0$$

$$\ddot{x} = -g + \frac{c}{m}(x_v - x)$$

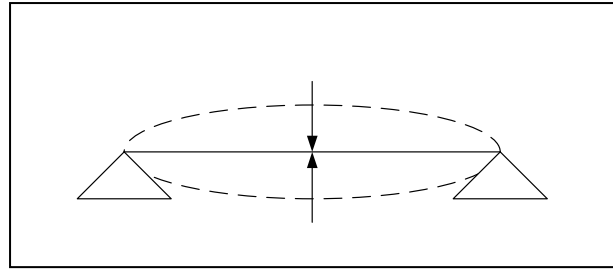
$$\dot{x} = \left(-g + \frac{c}{m}(x_v - x) \right) * t$$

x [m]	c [N/m]	m [kg]	a [m/s ²]	v [m/s]	x/xmax	v/vmax
0,05	2500	15,143	9,81	0,00	1	0
0,045			8,98453609	0,21	0,9	0,55523709
0,04			8,15907218	0,29	0,8	0,74828326
0,035			7,33360827	0,33	0,7	0,86886064
0,03			6,50814436	0,36	0,6	0,94512495
0,025			5,68268045	0,38	0,5	0,98739804
0,02			4,85721654	0,38	0,4	1
0,015			4,03175262	0,38	0,3	0,98407138
0,01			3,20628871	0,36	0,2	0,93816008
0,005			2,3808248	0,33	0,1	0,85746345
0			1,55536089	0,28	0	0,73054375

vmax [m/s] 0,38



2)



$$\Lambda := 4.73 \quad I := 0.01 \cdot \frac{(0.0002)^3}{12} \quad I = 6.667E-015 \quad \text{m}^4 \quad E := 206000 \cdot 1000000 \quad E = 206E+009 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$l := 0.050 \quad \text{m} \quad \rho := 7.85 \cdot 1000 \quad A := 0.01 \cdot 0.0002 \quad A = 2 \times 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad \Lambda2 := \pi$$

$$\omega := \left(\frac{\Lambda}{l} \right)^2 \cdot \sqrt{E \cdot \frac{I}{\rho \cdot A}} \quad \omega = 2646.796 \quad \text{s}^{-1}$$

$$\omega2 := \left(\frac{\Lambda2}{l} \right)^2 \cdot \sqrt{E \cdot \frac{I}{\rho \cdot A}} \quad \omega2 = 1167.61 \quad \text{s}^{-1}$$

$$f1 := \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \quad f1 = 421.251 \quad \text{s}^{-1} \quad f2 := \frac{\omega2}{2 \cdot \pi} \quad f2 = 185.831 \quad \text{s}^{-1}$$