

2 Messgeräte zur Erfassung von Maschineneigenschaften

In diesem Kapitel werden alle zur Beurteilung von Werkzeugmaschinen erforderlichen Messgeräte zusammenhängend vorgestellt. Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Vorgehensweisen bei der Durchführung der Messungen greifen auf diese Darstellung zurück.

In den ersten Abschnitten werden zunächst die üblichen Mess- und Auswertegeräte zur Längen-, Winkel-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmessung beschrieben. Da Genauigkeitsprüfungen an Werkzeugmaschinen grundsätzlich in Form von Abweichungsmessungen durchgeführt werden, sind diese Geräte von großer Bedeutung. Die Kenntnis des Genauigkeitsverhaltens unter Betriebslasten (Prozess- und Gewichtskräfte) wird künftig an Bedeutung gewinnen. Hierzu wird die Verformungsneigung der Maschinen unter definierter Lastaufbringung erfasst. Die dafür künstlich einzuleitenden statischen, dynamischen und thermischen Belastungen müssen ebenfalls gemessen werden. Aus diesem Grunde werden die zur Untersuchung notwendigen Kraftmessaufnehmer und Temperatursensoren behandelt.

Die Interferometrie mit Laserlicht ermöglicht ein flächiges und sogar dreidimensionales Erfassen der Verformungen von Maschinenstrukturen. Diesem künftig bedeutsamen Messverfahren wird daher ein eigener Abschnitt gewidmet.

2.1 Geräte zur Messung von Wegen

In diesem Abschnitt werden die für die Untersuchungen an Werkzeugmaschinen wichtigen Geräte zur Messung von Wegen bzw. Längenänderungen oder Dehnungen vorgestellt. Vielfach werden die gleichen Aufnehmertypen auch für die Erfassung von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen verwendet, da durch Differentiation bzw. Integration eine Umwandlung der Messgrößen möglich ist. Der grundsätzliche Nachteil der Differentiation besteht häufig darin, dass alle höherfrequenten Störungen das Messergebnis stark verfälschen.

Zu den am häufigsten bei Geometriemessungen einsetzbaren Messgeräten gehören die relativen Wegaufnehmer. Je nach Anwendungsfall kann zwischen berührenden und berührungslosen, mechanisch und elektronisch wirkenden Aufnehmern verschiedener Messbereiche, Auflösung (kleinster unterscheidbarer Messschritt) und Genauigkeit gewählt werden.

Wie in späteren Kapiteln dieses Buches noch ausführlich beschrieben wird, eignen sich Wegaufnehmer in Kombination mit Referenznormalen (Prüflinial, Prüfwinkel oder Prüfkugel usw.) für vielfältige Messaufgaben wie z.B. Messung der Tischgerad- bzw. -ebenheit (siehe Abschnitt 3.1.5.2.1) oder Rundlaufmessungen von Rotationsachsen (siehe Abschnitt 3.1.5.9.3).

2.1.1 Mechanische Wegmessgeräte

Zu den ältesten Wegmessgeräten zählen die mechanischen Messuhren. Hierbei wird die translatorische Messbewegung über Präzisionszahnstange und -ritzel in eine rotatorische Zeigerbewegung umgewandelt, Bild 2-1.

Federn halten unabhängig von der Bewegungsrichtung immer dieselben Zahnflanken in Kontakt. Hierdurch wird das Spiel der Getriebeelemente weitgehend ausgeschaltet. Über einen Ausgleichshebel wird für eine annähernd von der Tasterposition unabhängige Andruckkraft gesorgt. Durch Wahl geeigneter Zahnstangenlängen und Getriebeübersetzungen können unterschiedliche Messbereiche und Auflösungen realisiert werden [2-1].

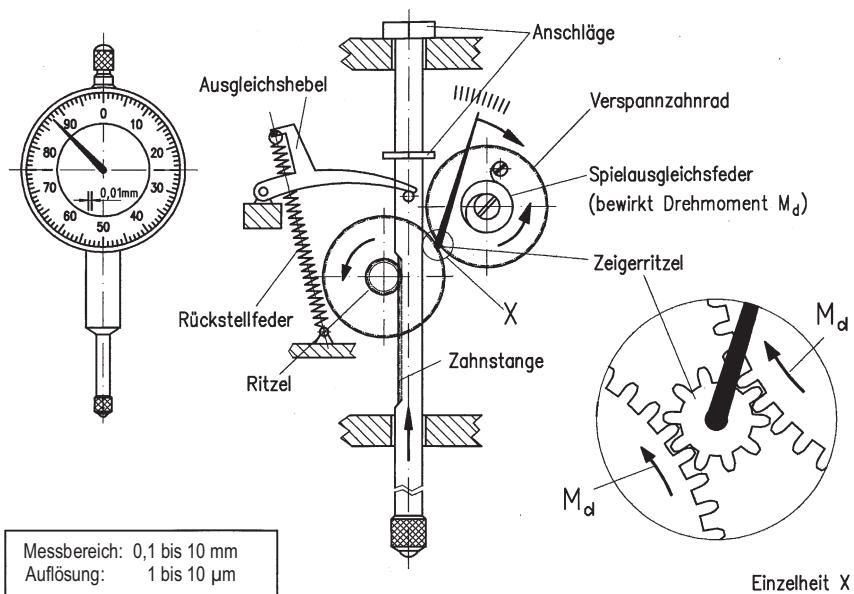


Bild 2-1. Aufbau und Wirkungsweise einer Messuhr

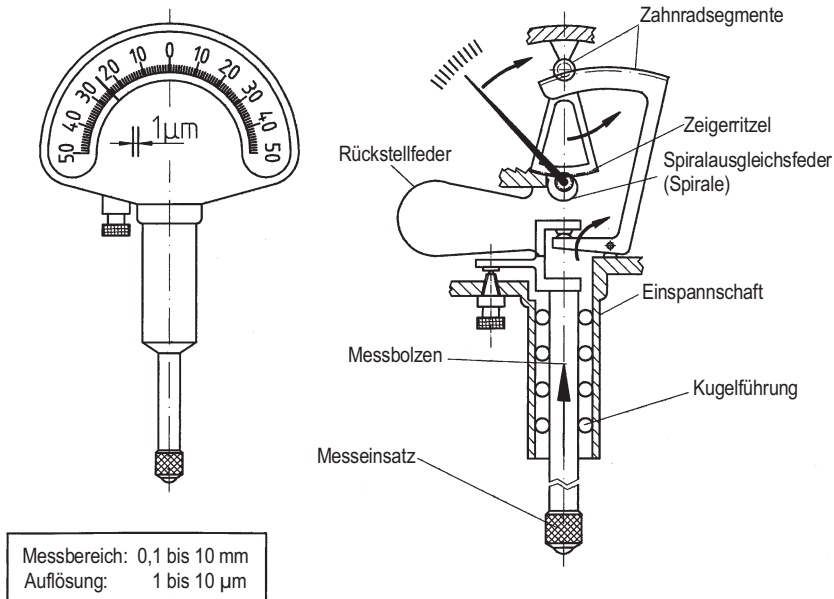


Bild 2-2. Aufbau und Wirkungsweise eines Feinzeigers

Feinzeiger, Bild 2-2, sind analoge Längenmessgeräte mit einem maximalen Zeigerausschlag von weniger als 360° [2-2]. Sie unterscheiden sich von den Messuhren durch eine größere mechanische Übersetzung, die mit Hilfe von Ritzel- und Zahnradsystemen erreicht wird. Sie weisen zwar einen geringeren Messbereich, dafür aber eine höhere Auflösung auf.

Einen Mikrokator zeigt Bild 2-3. Hierbei wird als Übersetzungselement für den Messweg ein dünnes Metallband benutzt, das von der Mitte aus zur einen Seite hin rechtsgängig und zur anderen Seite hin linksgängig verdreht ist. In der Mitte ist ein Zeiger befestigt.

Die axiale Messbolzenbewegung wird durch einen Winkelhebel um 90° umgelenkt und auf das verdrehte Metallband übertragen. Die dadurch entstehende Streckung des Metallbandes bewirkt eine proportionale Drehung des Zeigers. Da in der gesamten Kette der Messwegübertragung nur Federn ausgelenkt werden, tritt bei dem Mikrokator nahezu keine Umkehrspanne auf [2-1, 2-3].

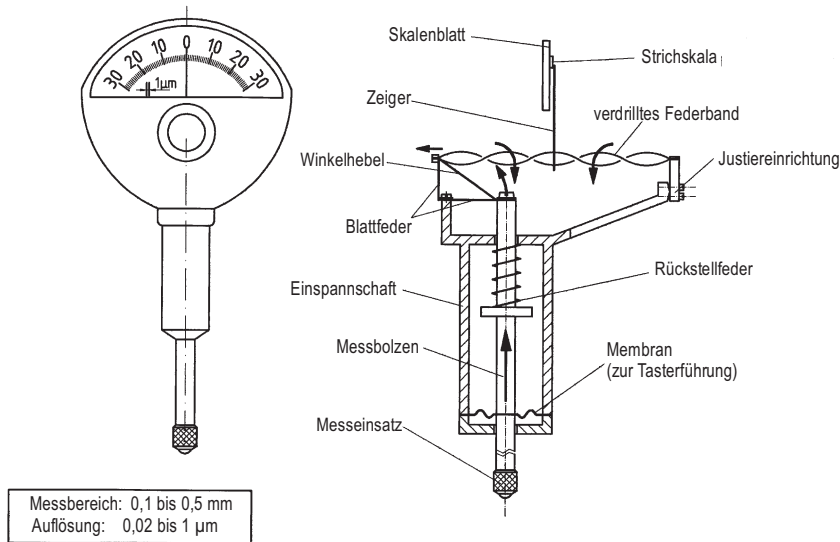


Bild 2-3. Aufbau und Wirkungsweise eines Mikrokators

2.1.2 Potentiometer-Weggeber

Weggeber nach dem Potentiometer-Prinzip überführen die Wegmessgröße in eine Widerstandsänderung. Durch eine wegproportionale Verschiebung des Abgriffspunktes des Schleifers auf einem über der Weglänge ausgedehnten Widerstand ändert sich der Widerstand entsprechend. Das Hauptmerkmal dieser Geber ist ihre hohe Nutzspannung, was einfache und robuste Schaltungen ohne Verstärker ermöglicht. Die einfachste Form des Potentiometergebers besteht aus einem gerade gespannten Widerstandsdraht konstanten Querschnitts, auf dem sich ein Schleifer bewegt, Bild 2-4 [2-4]. Der zwischen dem Schleifer und dem einen Ende des Drahtes wirksame Widerstand R_s verläuft proportional zum entsprechenden Weg s

$$R_s = \frac{s}{s_{\max}} R_o \quad (2-1)$$

Hierin bedeutet s_{\max} den maximal möglichen Weg und R_o den gesamten Widerstand. Nutzt man den Potentiometergeber als Spannungsteiler, erhält man bei einer Nichtbelastung durch das Messgerät ($I_s = 0$) eine wegproportionale Spannung U_s :

$$U_s = \frac{s}{s_{\max}} U_o \quad (2-2)$$

mit U_o als der an R_o anliegenden Spannung. Der wesentliche Nachteil der Potentiometergeber ist durch das Schleiferprinzip bedingt: Schleifer und Widerstandsdraht nutzen sich ab, der Übergangswiderstand bleibt nicht konstant.

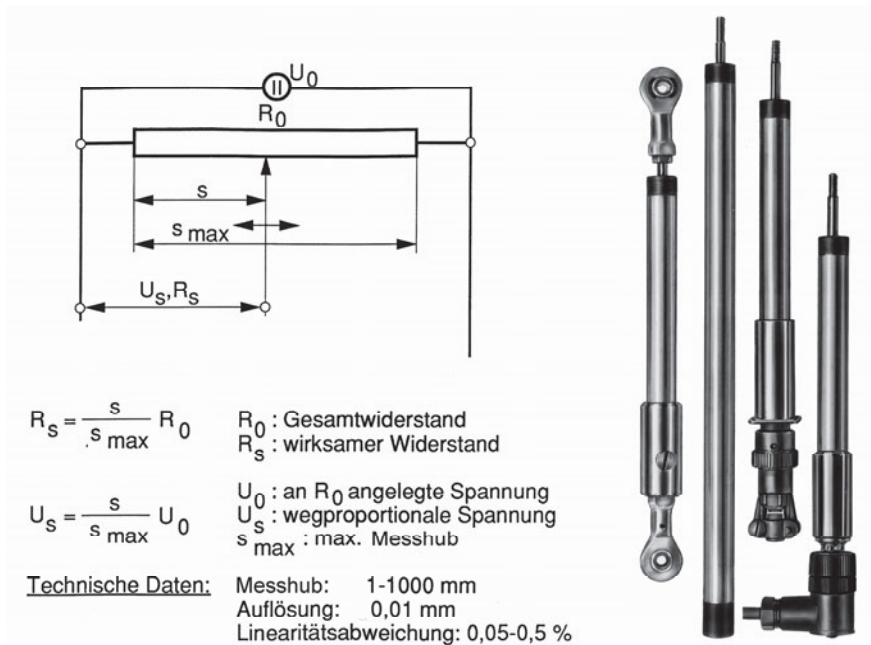


Bild 2-4. Potentiometergeber (Quelle: nach TWK-Elektronik GmbH)

Potentiometer-Weggeber sind einsetzbar für Messhübe von 1 bis über 1000 mm, bei einer Auflösung von 0,01 mm. Die Linearitätsabweichungen betragen je nach Bauweise und Messweg ca. 0,05 bis 0,5% [2-5, 2-6].

2.1.3 Kapazitive Weggeber

Zwei einander mit dem Abstand d gegenüberstehende, leitende Platten der Flächen A , zwischen denen sich ein Material mit der relativen Dielektrizitätskonstante befindet, besitzen die Kapazität C [2-7]:

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{A}{d} \quad \text{mit} \quad \epsilon_0 = \frac{1}{2\pi} 10^{-11} \frac{\text{Farad}}{\text{cm}} \quad (2-3)$$

Hierin ist ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes. Zur Wegmessung kann die Änderung des Abstandes Δd der beiden Platten voneinander genutzt werden. Sie beeinflusst proportional die Kapazität C , deren Veränderung elektronisch ausgewertet wird. Nach einer Änderung des Abstandes d der Platten um Δd ergibt sich eine Kapazität $C(d + \Delta d)$ zu [2-4]:

$$C(d + \Delta d) = \frac{\epsilon_0 \epsilon A}{d + \Delta d} \quad (2-4)$$

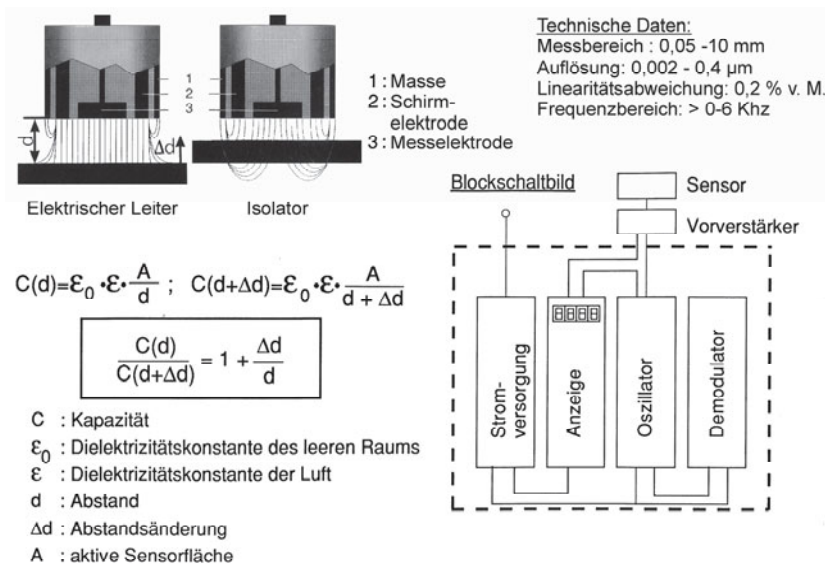


Bild 2-5. Kapazitiver Wegaufnehmer (Quelle: nach Mikro Epsilon Messtechnik)

Aus den Gleichungen (2-3) und (2-4) erhält man die Grundgleichung des kapazitiven Abstandsgebers zu:

$$\frac{C(d)}{C(d + \Delta d)} = 1 + \frac{\Delta d}{d} \quad (2-5)$$

Auf diese Weise lässt sich die Änderung des Plattenabstandes bestimmen zu:

$$\Delta d = \left(\frac{C(d)}{C(d + \Delta d)} - 1 \right) d \quad (2-6)$$

Durchfließt ein Wechselstrom konstanter Frequenz den Kondensator, so ist die Amplitude der Wechselspannung am Sensor dem Abstand der Kondensatorplatten proportional. Hierzu speist der Oszillator den Sensor mit einer frequenz- und amplitudenstabilen Wechselspannung. Der in Bild 2-5 im Blockschaltbild dargestellte Vorverstärker ermöglicht die Überbrückung größerer Entfernungen zwischen Messort und Hauptelektronik. Die Aufgabe des Demodulators ist die Demodulation, Linearisierung und Verstärkung des abstandsabhängigen Messsignals [2-8].

Kapazitive Abstandsgeber benutzt man meist zur berührungslosen Messung der Bewegungen schwingender Bauteile. Hierzu wird der Messgeber in einem geringen Abstand (ca. 1 mm) von der Oberfläche eines metallischen Bauteils angebracht. Seine Frontfläche stellt die eine Platte des Kondensators dar. Die andere Platte wird vom metallischen Bauteil selbst gebildet. Änderungen der Leitfähigkeit wirken sich nicht auf die Empfindlichkeit oder Linearität aus.

Messungen gegen Isolatorwerkstoffe sind möglich, wenn das Material eine konstante Dielektrizitätskonstante besitzt. Das lineare Verhalten wird durch eine elektronische Beschaltung erreicht. Um die Streukapazität der festen Elektrode zu definieren, ist eine Abschirmung vorgesehen, die auch gleichzeitig Störfelder abschirmt. Mit einer derartigen Messeinrichtung lassen sich je nach Sensortyp Messungen in Messbereichen von 0,05 mm bis zu 10 mm, bei einer Auflösung von 0,002 bis 0,4 μm durchführen. Die Linearitätsabweichungen betragen ca. 0,2% vom Messbereich. Der Frequenzbereich liegt zwischen 0 und 6 kHz.

2.1.4 Wirbelstrom-Weggeber

Wirbelstromaufnehmer eignen sich zur berührungslosen Wegmessung gegen jegliche Messobjekte aus elektrisch-leitenden Werkstoffen. Es ist gleichgültig, ob diese ferromagnetische Eigenschaften aufweisen oder ob es sich um nicht-ferromagnetische Materialien handelt [2-9].

Der Aufbau der Aufnehmer ist nahezu identisch mit dem Aufbau kapazitiver Geber. Eine in ein Sensorgehäuse eingegossene Spule wird von hochfrequentem Wechselstrom durchflossen. Das elektromagnetische Spulenfeld induziert im leitfähigen Messobjekt Wirbelströme. Dadurch ändert sich der Wechselstromwiderstand der Spule. Diese Impedanzänderung bewirkt ein dem Abstand des Messobjektes proportionales, lineares, elektrisches Signal. Das Wirbelstrom-Messverfahren reagiert im Gegensatz zum kapazitiven Messverfahren unempfindlich auf Umwelteinflüsse (Öl, Schmutz, Wasser und elektromagn. Störfelder), ist allerdings weniger hoch auflösend. Aufgrund der geringeren Empfindlichkeit gegen Umwelteinflüsse kann beim Aufbau von Wirbelstrom-Aufnehmern auf die Abschirmung verzichtet werden (siehe Bild 2-5). Aus diesem Grund werden derartige Aufnehmer kleiner als kapazitive Aufnehmer gebaut.

Mit Wirbelstrom-Wegaufnehmern lassen sich je nach Aufnehmertyp Messungen im Bereich zwischen 0,5 und 80 mm, bei einer Auflösung von 0,05 bis 8 μm durchführen. Der Messbereich liegt zwischen 1 Hz und 100 kHz [2-9].

2.1.5 Induktive Weggeber

Eine auf einen ferritischen Kern aufgebrachte Drahtwicklung besitzt eine Induktivität. Die Größe der Induktivität L ist abhängig von der Windungszahl w , der Permeabilität μ des Kerns und den Abmessungen A von Wicklung und Kern. Werden die Größen w , μ oder A , d.h. also die Induktivität L von mechanischen Größen beeinflusst, so bezeichnet man sie als induktiven Geber. Je nachdem, ob w , μ oder A einer Induktivität beeinflusst werden, ist die Wirkungsweise und der konstruktive Aufbau des Gebers verschieden [2-4].

Induktive Geber, deren Induktivität durch Verändern des Luftspaltes zwischen Kern und Anker eines Magneten beeinflusst wird, heißen Querankergeber. In Bild 2-6 ist ein derartiger Geber, seine Kennlinie und die Schaltung eines Differential-Querankergebers dargestellt [2-7]. Auf einen magnetischen Kern (z.B. in U-Form)

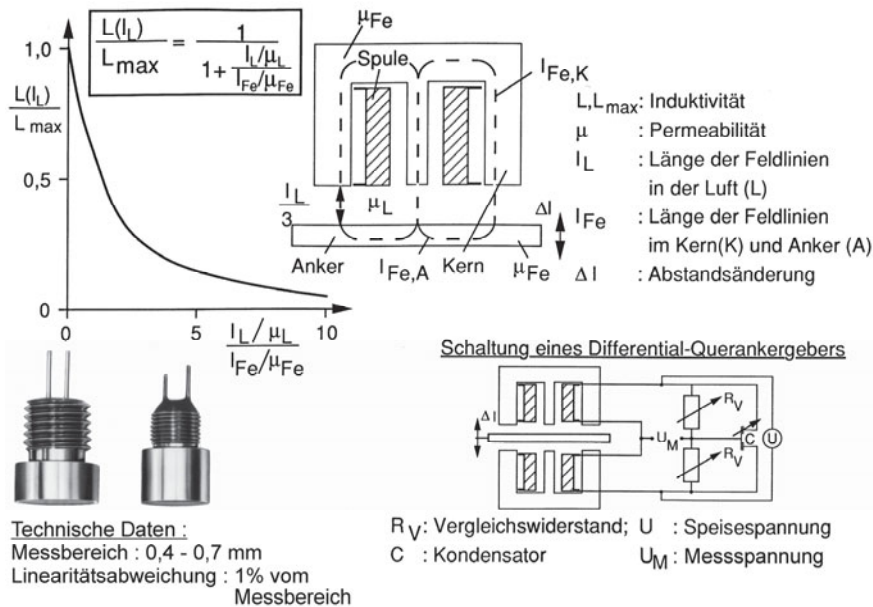


Bild 2-6. Induktiver Querankergeber (Quelle: nach Hottinger Baldwin Messtechnik)

ist eine Spule aufgeschoben. Die magnetischen Feldlinien durchsetzen den Kern, treten an seinen Stirnseiten aus und schließen sich im ebenfalls magnetischen Anker. Wird der Anker relativ zum Kern bewegt, ändert sich der Luftspalt und damit die Induktivität.

Bezeichnet man mit l_{Fe} die Länge der magnetischen Feldlinien durch das Eisen, d.h. durch Kern und Anker bzw. mit l_L die Feldlinien durch die Luft, mit μ_{Fe} bzw. μ_L die entsprechenden relativen Permeabilitäten von Kern und Luft, mit μ_0 die Permeabilität des leeren Raumes, mit A die Fläche des Kerns und mit w die Windungszahl, so wird unter Vernachlässigung von Streuung und Wirbelströmen die Induktivität des Querankergebers:

$$L(l_L) = \frac{\mu_0 w^2 A}{\frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}} + \frac{l_L}{\mu_L}} \quad (2-7)$$

mit $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-9} \frac{H}{cm}$ ($H = Vs/A$: Henry).

Für $l_L = 0$, also für am Kern anliegenden Anker, wird L maximal:

$$L_{\max} = \frac{\mu_0 w^2 A}{\frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}}} \quad (2-8)$$

Aus den Gleichungen (2-7) und (2-8) folgt die Grundgleichung für Querankergeber:

$$\frac{L(l_L)}{L_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{l_L \mu_{Fe}}{\mu_L l_{Fe}}} \quad (2-9)$$

In der Praxis ist ausgehend von einem Ankerabstand l_L eine Wegänderung Δl zu ermitteln. Die sich dabei einstellende Induktivität $L(l_L + \Delta l)$ lässt sich nach Gl. (2-7) bestimmen zu:

$$L(l_L + \Delta l) = \frac{\mu_o w^2 A}{\frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}} + \frac{l_L + 3\Delta l}{\mu_L}} \quad (2-10)$$

Auf diese Weise lässt sich die Wegänderung Δl aus den Gleichungen (2-7) und (2-10) errechnen zu:

$$\Delta l = \frac{1}{3} \left[\mu_L \left[\frac{L(l_L)}{L(l_L + \Delta l)} \left(\frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}} + \frac{l_L}{\mu_L} \right) - \frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}} \right] - l_L \right] \quad (2-11)$$

Gleichung (2-9) kennzeichnet einen hyperbolischen Zusammenhang zwischen der Induktivität L und dem Ankerweg l_L . Querankergeber besitzen nur für kleine Ankerwege eine näherungsweise konstante Empfindlichkeit. Um auch für etwas größere Ankerwege konstante Empfindlichkeit zu erhalten, schaltet man meist zwei gegenüberliegende Querankergeber in einer Wheatstone'schen Brückenschaltung zusammen. Bei einer Verschiebung des Ankers wird entsprechend der Kennlinie des Querankergebers die eine Induktivität der einen Spule größer, die der anderen kleiner. Die beiden Induktivitäten sind mit den Vergleichswiderständen R_V und dem zum Phasenabgleich nötigen Kondensator C so in eine Wheatstone'sche Brücke geschaltet, dass bei einer Verschiebung des Ankers beide Induktivitäten das Brückengleichgewicht gleichsinnig beeinflussen. U ist die Speisespannung der Brücke und U_M die gemessene Spannung bei einer Verschiebung des Ankers um Δl .

Queranker-Wegaufnehmer sind in Messbereichen von 0,4 bis 0,7 mm bei einer Linearitätsabweichung von ca. 1% des Messbereiches einsetzbar [2-10].

Die wesentliche Einschränkung des Querankergebers, sein begrenzter Messweg, führte zur Entwicklung eines induktiven Gebers mit großem Messweg. Der sogenannte Tauchankergeber besteht aus einer Spule mit einem Querschnitt A_L , einem verschiebbaren Anker des Querschnittes A_A und der Permeabilität μ_A sowie einem magnetischen Rückschluss des Querschnittes A_R und der Permeabilität μ_R . In erster Näherung laufen die magnetischen Feldlinien durch den Luftraum der Länge l_L im Inneren der Spule, durch den Anker der Länge l_A und schließen sich wieder durch den magnetischen Rückschluss der Länge l_R Bild 2-7.

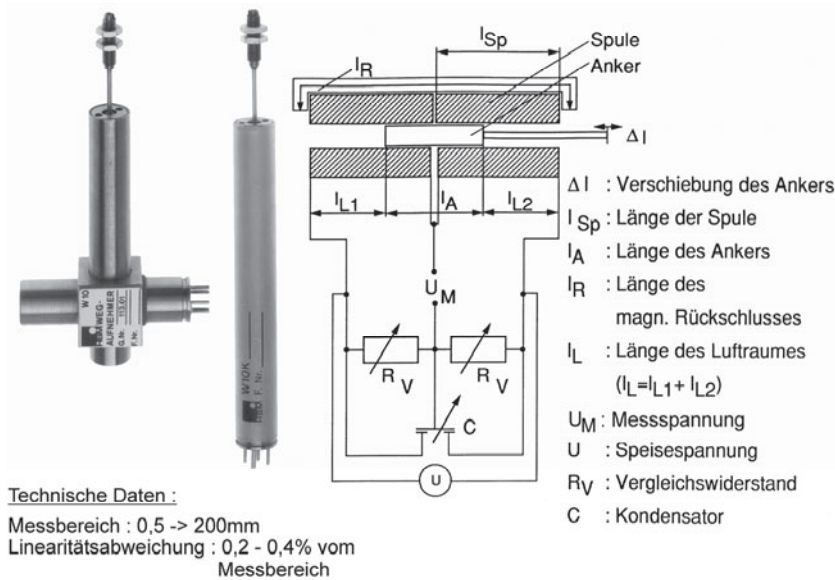


Bild 2-7. Induktiver Tauchankergeber (Quelle: nach Hottinger Baldwin Messtechnik)

Durch Verändern der Eintauchtiefe des Ankers in die Spule ändert sich entsprechend die Induktivität. Als Funktion des Weges Δl gilt in erster Näherung:

$$L = \frac{\mu_o w^2}{\frac{l_L}{\mu_L A_L} + \frac{l_A}{\mu_A A_A} + \frac{l_R}{\mu_R A_R}} \quad (2-12)$$

Für $l_L = 0$ ($\Rightarrow \approx 2l_{Sp}$) wird bei genügend langem Anker die Induktivität L maximal:

$$L_{\max} = \frac{\mu_o w^2}{\frac{l_A}{\mu_A A_A} + \frac{l_R}{\mu_R A_R}} \quad (2-13)$$

Aus den Gleichungen (2-12) und (2-13) folgt die Grundgleichung des Tauchankergebers zu:

$$\frac{L}{L_{\max}} = \left[1 + \frac{\frac{l_L}{\mu_L A_L}}{\frac{l_A}{\mu_A A_A} + \frac{l_R}{\mu_R A_R}} \right]^{-1} \quad (2-14)$$

Werkzeugmaschinen 5

Messtechnische Untersuchung und Beurteilung,
dynamische Stabilität

Weck, M.

2006, XXVIII, 474 S. Mit Online-Extras., Softcover

ISBN: 978-3-642-38748-7