

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (1)

Stoff	μ_r (max.)
Aluminium	1,0000208
Blei	1,0000159
Eisen (techn. rein)	1000 ... 7000
Elektrobleche	3000 ... 60000
Kupfer	0,99999904
Magnesium	1,0000174
Mu-Metall	10000... 300000
Nickel	1,000907
Platin	1,000257
Stahl	800 ... 2000
Wasser	0,999999097

Permeabilitätszahlen verschiedener Stoffe

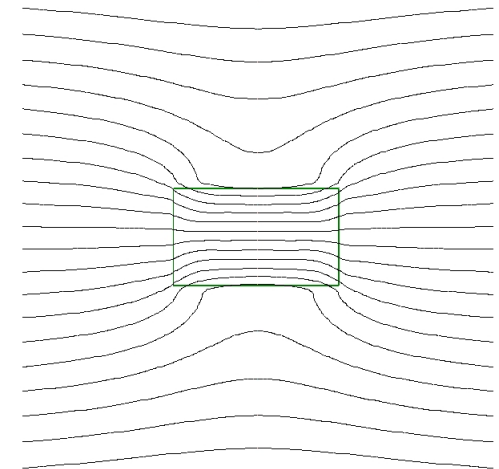
P. Dobrinski et al: Physik für Ingenieure;
H. Kuchling: Taschenbuch der Physik]

Ohmsches Gesetz der Magnetostatik

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} = \frac{\int \vec{H} \cdot d\vec{l}}{R_m}$$

Materie im Magnetfeld

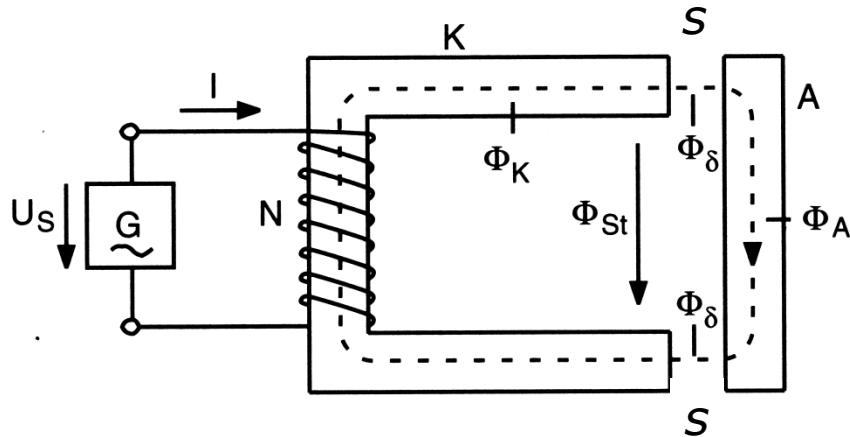
$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}$$



**Magnetfeldlinien
im Ferromagneten**

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (2)



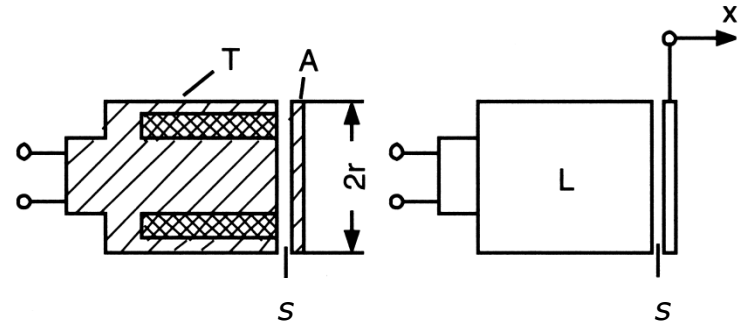
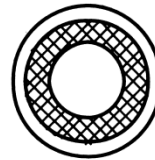
Magnetischer Kreis mit Queranker

[J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren]

- K : weichmagnetischer Kern
- A : Queranker
- I : Strom
- N : Windungszahl der Spule

Topfspule →

(Vorderansicht, Längsschnitt, Schaltzeichen)



Durchflutungsgesetz

$$\int \vec{H} \cdot d\vec{l} = N \cdot I$$

Induktivität einer Spule

$$L = N \cdot \frac{d\phi}{di}$$

⇒ Abstandsbestimmung

$$s = \left(\frac{N^2}{L} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A_{Fe} - l_{Fe} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \mu_r}$$

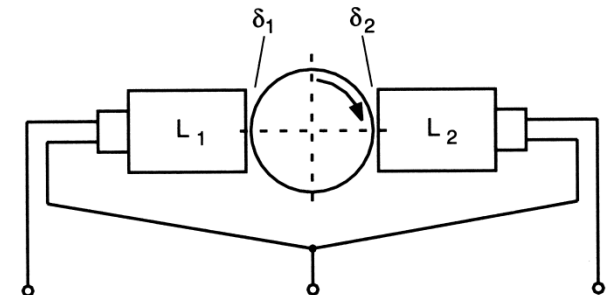
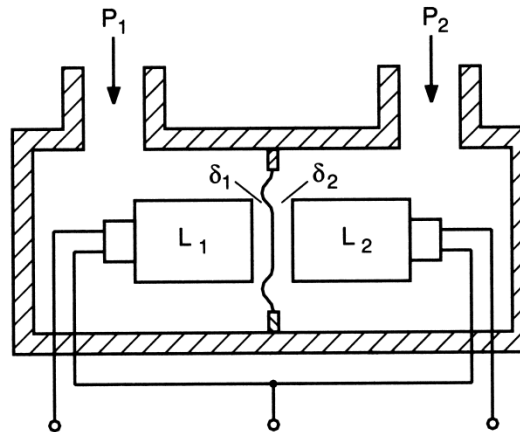
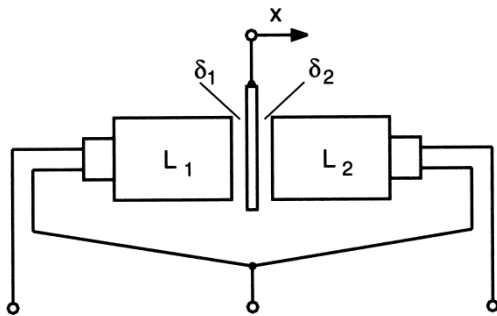
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (3)

Differenzialdrosseln mit $ds_1 = -ds_2$:

$$dL_1 = \left. \frac{\partial L_1}{\partial s_1} \right|_{s_1=s_0} \cdot ds_1 = \frac{-N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A_K \cdot 2 \cdot \mu_r}{(I_{Fe} + 2 \cdot s_0 \cdot \mu_r)^2} \cdot ds_1 = \frac{-L_0 \cdot 2 \cdot \mu_r}{(I_{Fe} + 2 \cdot s_0 \cdot \mu_r)} \cdot ds_1$$

$$\underline{dL_2} = \left. \frac{\partial L_2}{\partial s_2} \right|_{s_2=s_0} \cdot ds_2 = \frac{-L_0 \cdot 2 \cdot \mu_r}{(I_{Fe} + 2 \cdot s_0 \cdot \mu_r)} \cdot ds_2 = \underline{-dL_1}$$

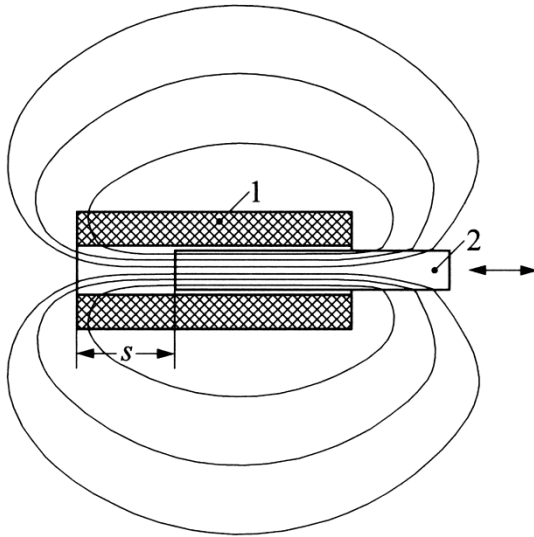


Applikationen von Differenzialdrosseln mit verstellbarem Queranker:
 (v. links:) **Stellwegaufnehmer, Druckdifferenziaufnehmer, Exzentrizitätsmesser**

[J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (4)



Induktivität
einer Drosselspule
mit Tauchanker:

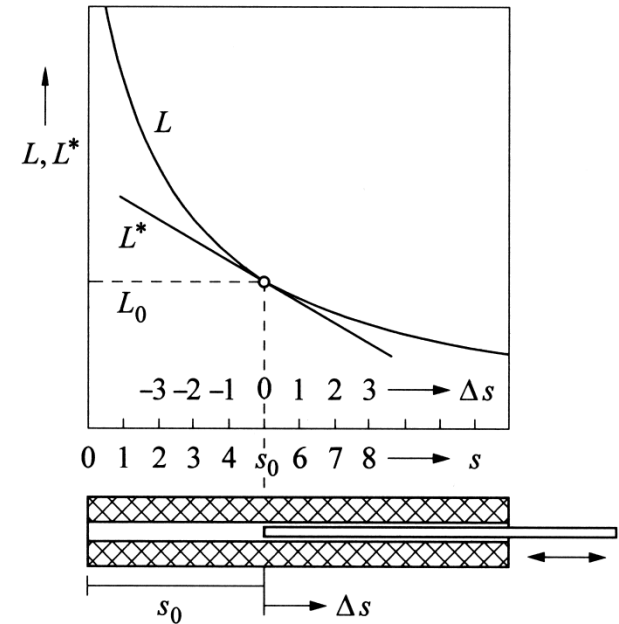
$$L \approx \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{s}$$

⇒ Wegmessung

$$s \approx \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{L}$$

**Feldlinien einer Spule (1)
mit verschiebbarem
Eisenkern (2)**

[E. Schröder: Elektrische Messtechnik]



**Kennlinie
eines Tauchankergebers
mit Arbeitspunkt (s_0, L_0)**

[E. Schröder: Elektrische Messtechnik]

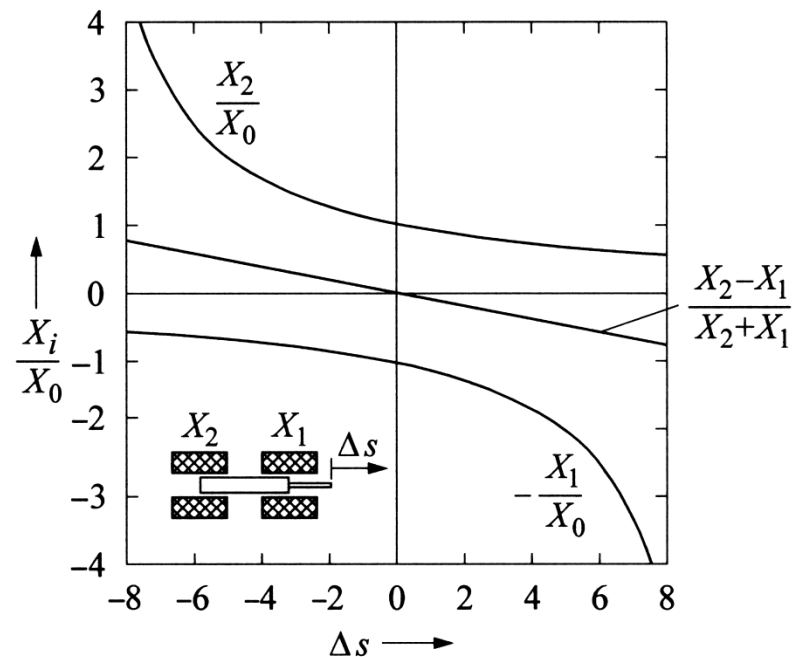
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (5)

Differenzial-Tauchankergeber mit $s_1 = s_0 - \Delta s$, $s_2 = s_0 + \Delta s$

⇒ Wegmessung

$$\Delta s = -s_0 \cdot \frac{L_2 - L_1}{L_2 + L_1}$$



Kennlinien eines Differenzial-Tauchankergebers

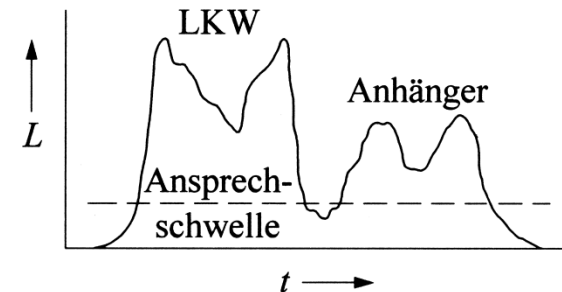
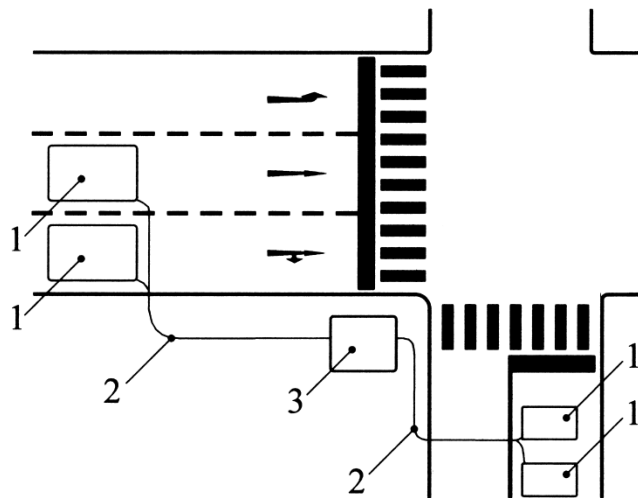
[E. Schröder: Elektrische Messtechnik]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (6)

Induktivität
einer (Zylinder-)Spule

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \frac{A}{l} \quad \Rightarrow \text{Zählung, Anwesenheitsprüfung}$$



Fahrzeugetfassung mit induktiven Schleifendetektoren

1: **Detektoren**, 2: Zuleitungen, 3: Auswertegeräte

[E. Schröder: Elektrische Messtechnik]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (7)

Induktionsgesetz

$$u_{\text{ind}} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = -\frac{d}{dt} \int \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} \cdot d\vec{A}$$

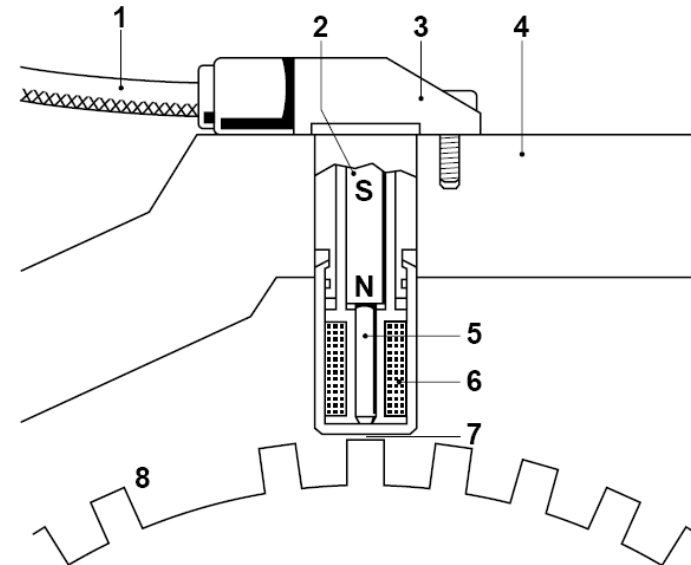
⇒ Drehzahlmessung

$$f_0 = \frac{U_n}{\phi_1 \cdot n \cdot 2\pi}$$

Induktiver (passiver) Drehzahlsensor

- 1: Kabel
- 2: Dauermagnet
- 3: Sensorgehäuse
- 4: Gehäuseblock
- 5: weichmagnetischer Polstift
- 6: Spule
- 7: Luftspalt
- 8: Zahnscheibe mit Bezugsmarke

[Bosch: Autoelektrik, Autoelektronik]



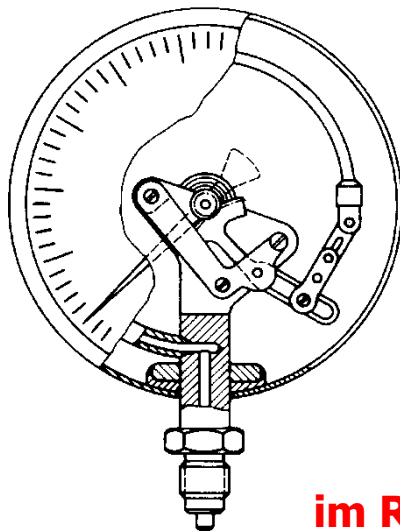
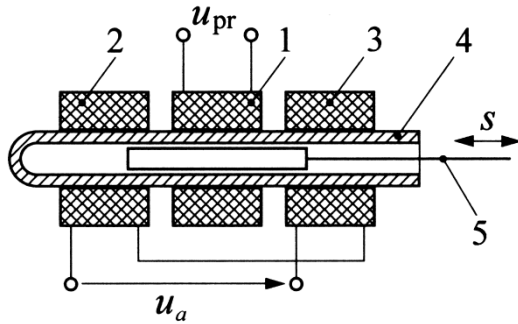
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (8)

Linearer Differenzial-Transformator

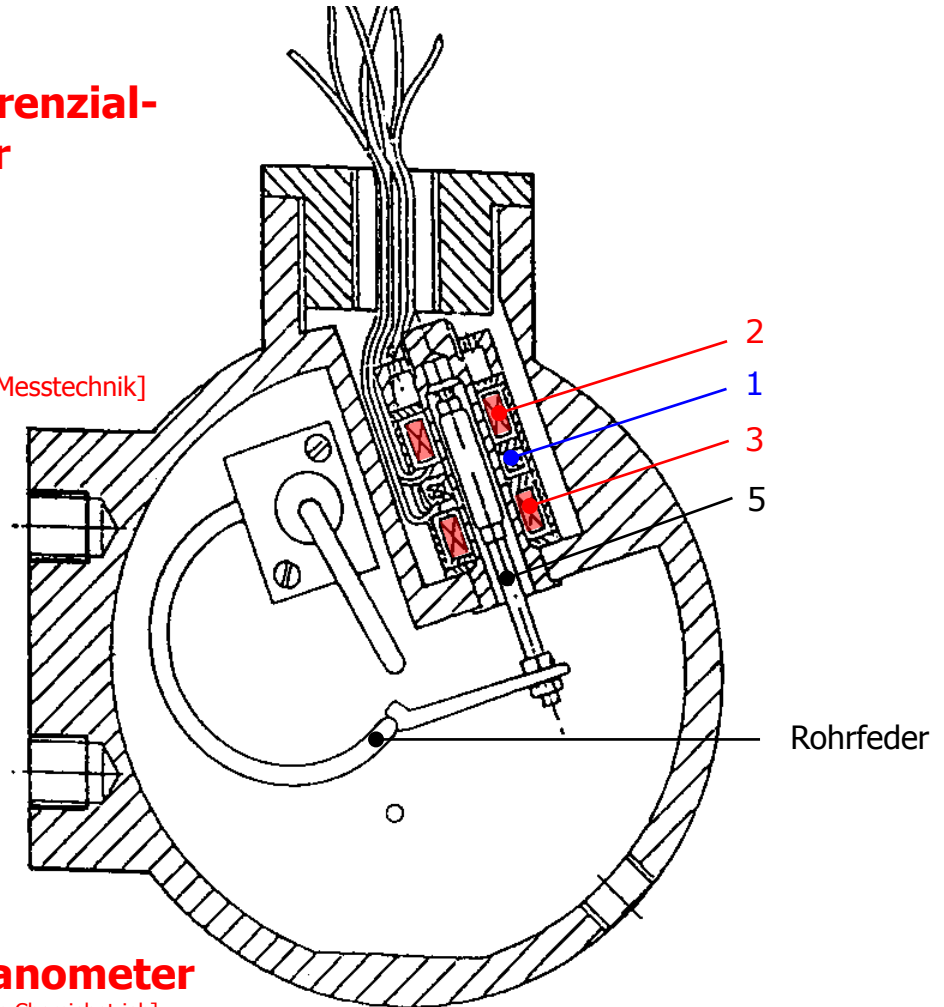
- 1: Primärspule
- 2, 3: Sekundärspulen
- 4: Hülse
- 5: verschiebbarer Kern

[E. Schröder: Elektrische Messtechnik]



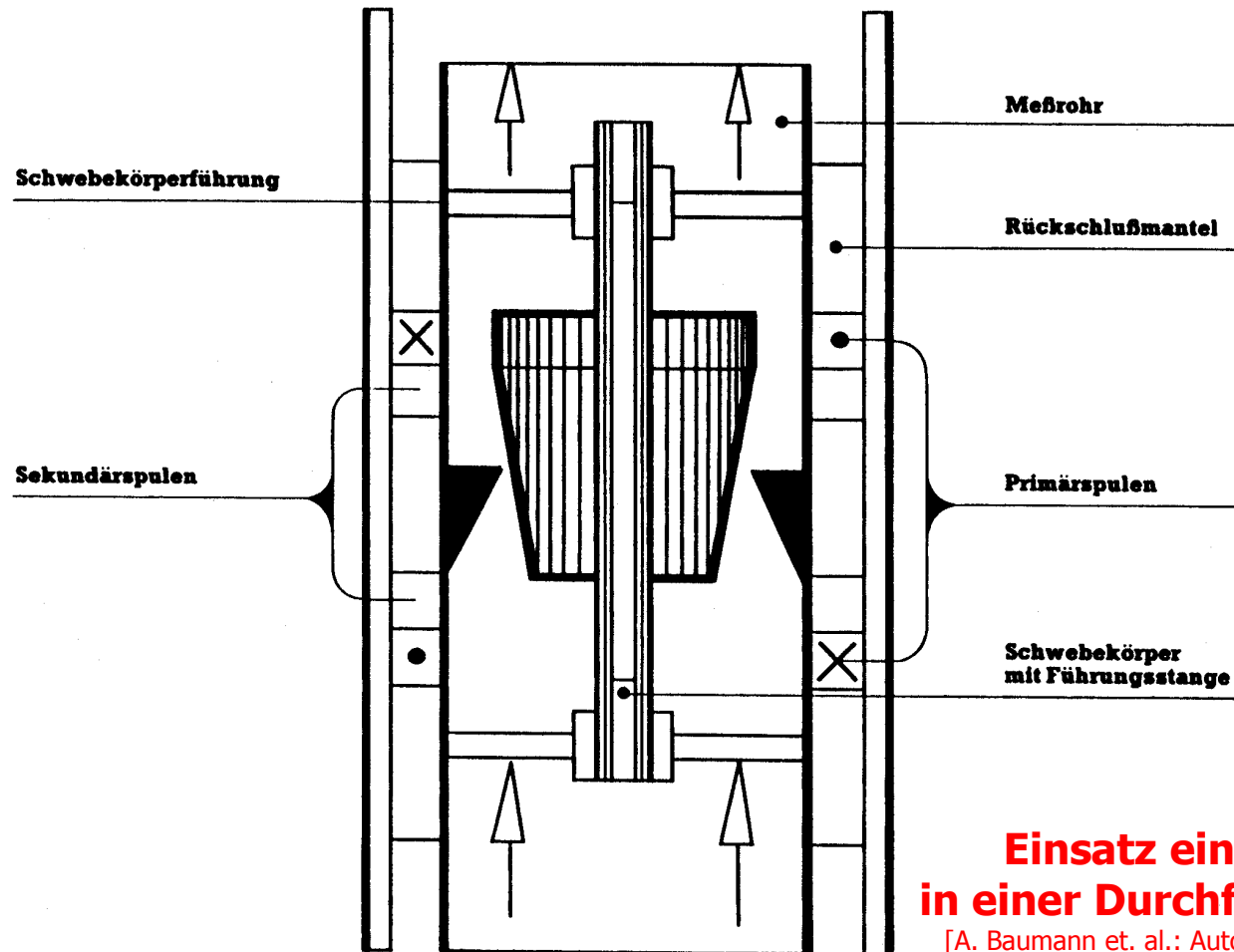
LVDT im Rohrfedermanometer

[G. Strohmman: Messtechnik im Chemiebetrieb]



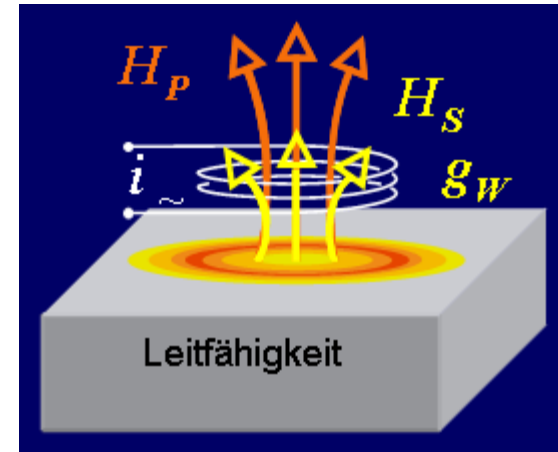
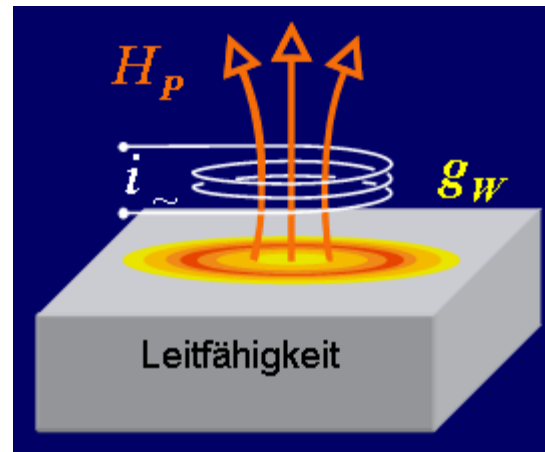
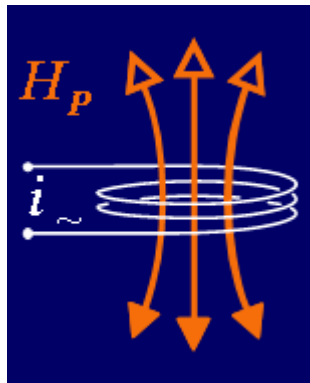
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (9)



4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (10)



Wirbelstromentstehung

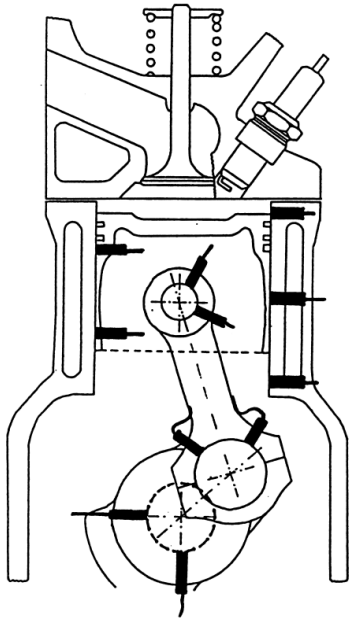
[Otto-von-Guericke-Institut Magdeburg, EddyCation-Infomaterial]

Wirbelstrombildung

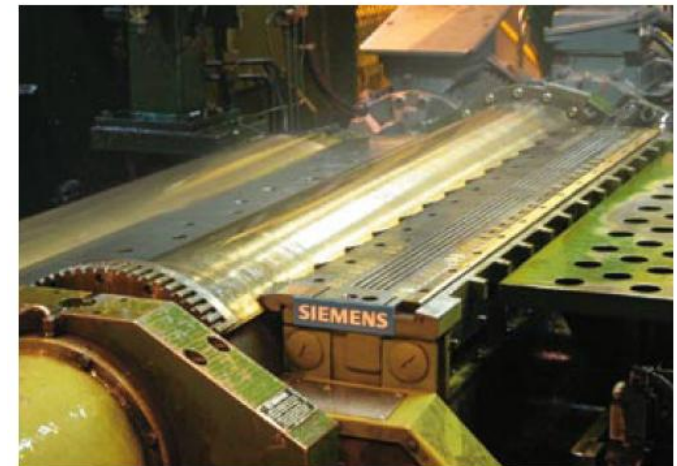
⇒ Abstandsmessung, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (11)



Anwendungsbeispiel Maschinenüberwachung
Wirbelstrom-Sensoren überwachen die Dicken
schwankungen von Garnen in Textilmaschinen.



Anwendungsbeispiel Qualitätssicherung
Wirbelstrom-Sensoren messen die Planheit von
Stahlblechen zur kontinuierlichen Qualitätssicherung.

Einsatz von Wirbelstromabstandssensoren im Prüfstand, zur Maschinenüberwachung und Qualitätssicherung

[W. Eißer: Praktischer Einsatz von berührungslos arbeitenden Sensoren; Micro-Epsilon Messtechnik GmbH]

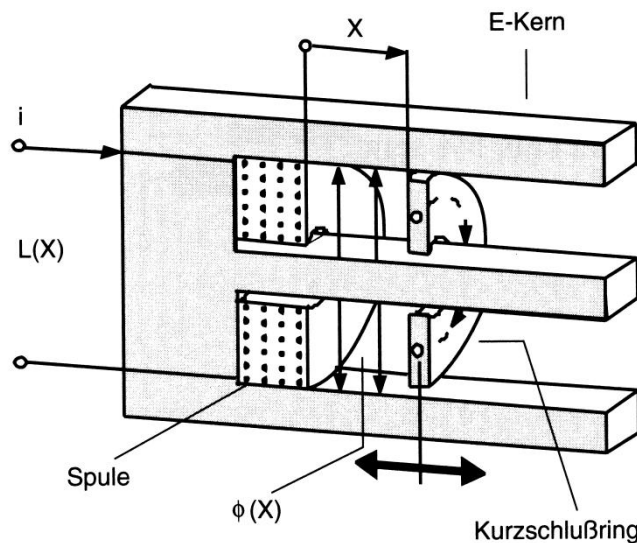
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.3 INDUKTIVE SENSORPRINZIPIEN (1 2)

Wirbelstrombildung

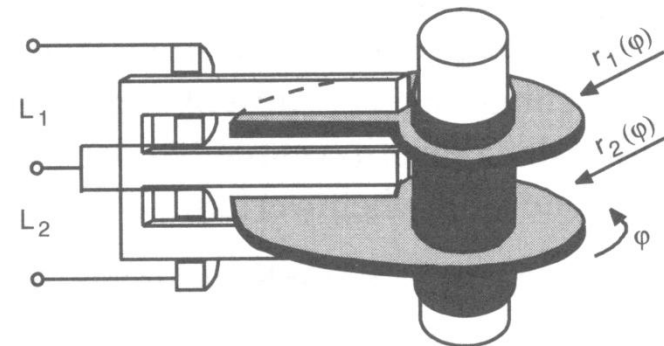
Eingrenzung des primären Magnetfeldes \Rightarrow Abstands- und Winkelbestimmung

$$x \sim \left(\frac{N^2}{R_m} \right) \sim L$$



Drosselspule mit Kurzschlusssring

[J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren]



Kurzschlusscheiben-Differenzialdrossel zur Winkelmessung

[J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren]