

# Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen

- Messgröße
  - Definition, Einheit
- Physikalische Effekte
- Sensoren, Bauarten, Randbedingungen
- Vor- und Nachteile

# Mechanische und geometrische Größen

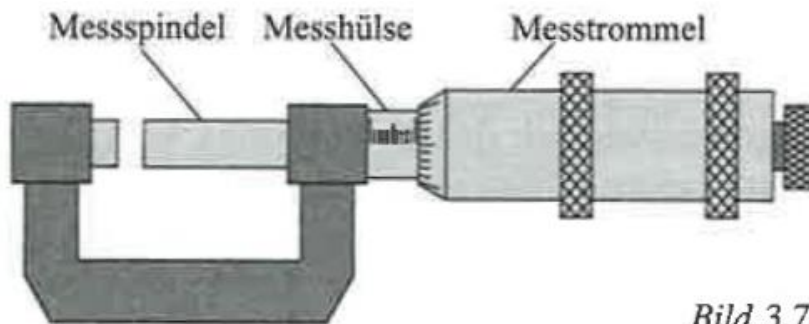
- Länge
- Winkel
- Position
- Dehnung
- Kraft
- Beschleunigung
- Schwingung
- Masse
- Drehmoment
- Drehzahl

# Länge

**Meter m:** *Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während  $1/299794458$  s durchläuft.*

## Mechanische Verfahren

- Massband, Massstab
- Messschieber + Nonius
- Mikrometerschraube



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.70 Mikrometerschraube

# Physikalische Effekte

Positionsänderung bewirkt Änderung von

- Induktivität
- Kapazität
- Laufzeit
  - Licht (Interferenz)
  - Ultraschall → **Video Robot-Navigation**

# Physikalische Effekte – Induktivität

Induktivität:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{s}$$

$N$  ... Windungszahl

$s$  ... Weglänge der magnetischen Feldlinien

$A$  ... von den Feldlinien durchsetzte Fläche

$\mu$  ... Permeabilität

Gemessen wird Änderung des induktiven Widerstands  $X_L$ :

$$X_L = \omega L$$

# Physikalische Effekte – Kapazität

Kapazität:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{l}$$

$A$  ... wirksame Fläche

$l$  ... Plattenabstand

$\varepsilon$  ... Dielektrizitätskonstante

Gemessen wird Änderung des kapazitiven Widerstands  $X_C$ :

$$X_C = -\frac{1}{\omega C}$$

# Induktive Längenmessung

## Tauchankeraufnehmer

- Weicheisenkern einführen  $\rightarrow L$  steigt

## Differenzialtauchankeraufnehmer

- Differenzialprinzip  $\rightarrow$  lineare KL, Empfindlichkeit steigt

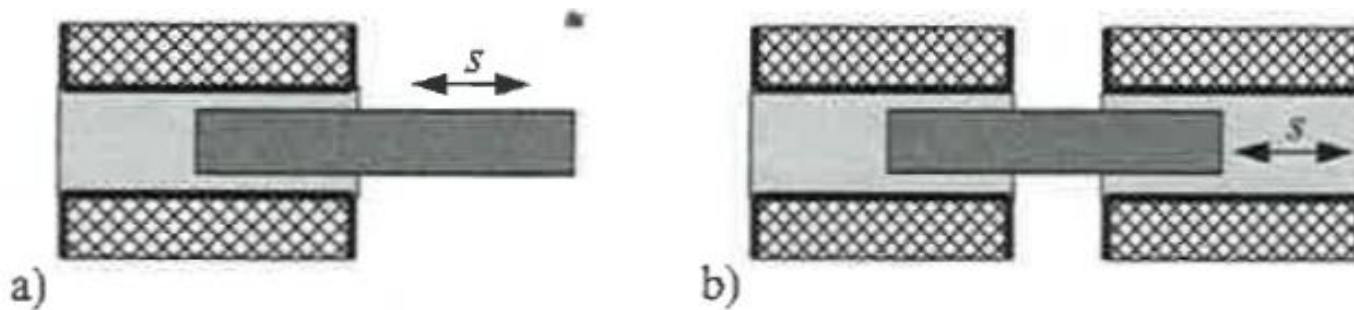


Bild 3.71 a) Tauchanker-, b) Differenzialtauchankeraufnehmer

[Hoffmann, TB der MT]

# Induktive Längenmessung

## Querankeraufnehmer

- hohe Empfindlichkeit, sehr kleine Weglängen
- sehr robust, aber hohe Stellkräfte

## Differenzialquerankeraufnehmer

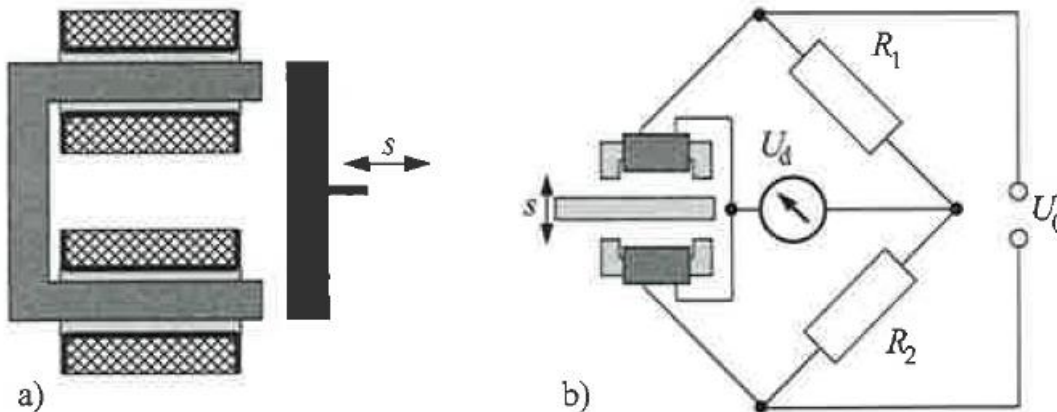


Bild 3.72 a) Querankeraufnehmer, b) Differenzialquerankeraufnehmer in Brückenschaltung

Querankeraufnehmer -  $L(s)$

$$L(s) = \frac{L_0}{1 + \mu_r \frac{2s}{s_E}}$$

$L_0$  ... Induktivität bei  $s = 0$

$s_E$  ... mittlere Feldlinienlänge im Eisen

$\mu_r$  ... Permeabilität des Eisens

[Hoffmann, TB der MT]



# Kapazitive Wegaufnehmer

- mechanisch sehr robust
- großer Temperaturbereich
- extreme Bedingungen (Nässe, Schmutz, ...)
- viele mögliche Geometrien

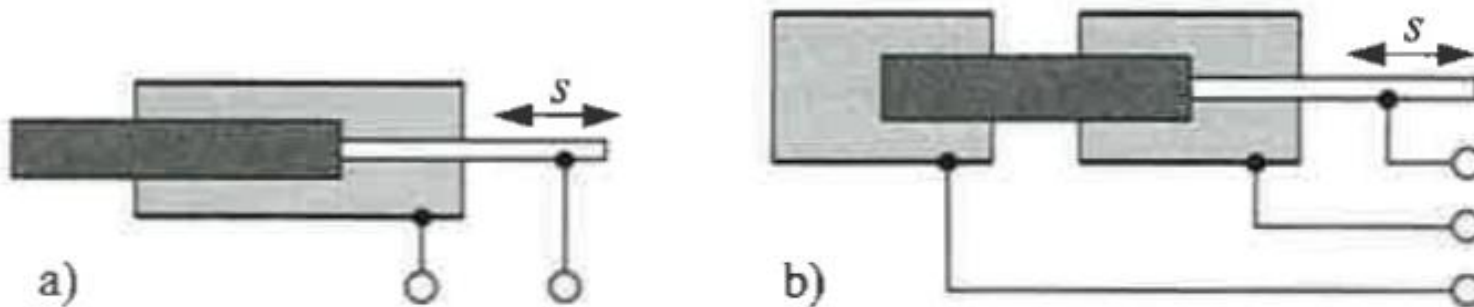
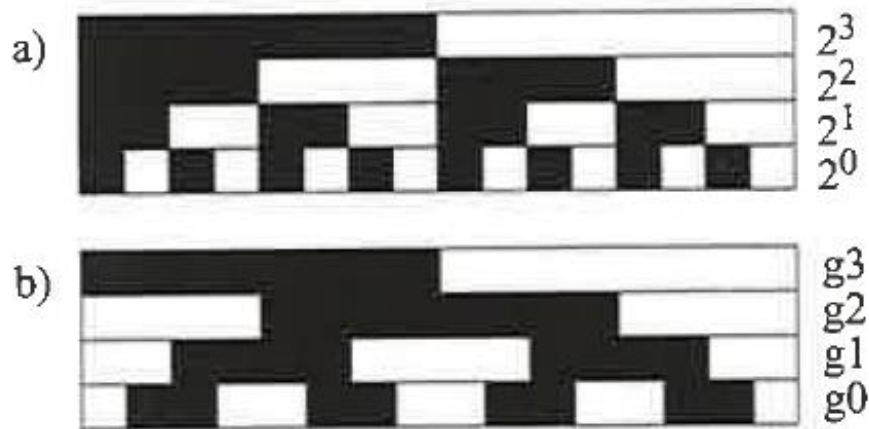
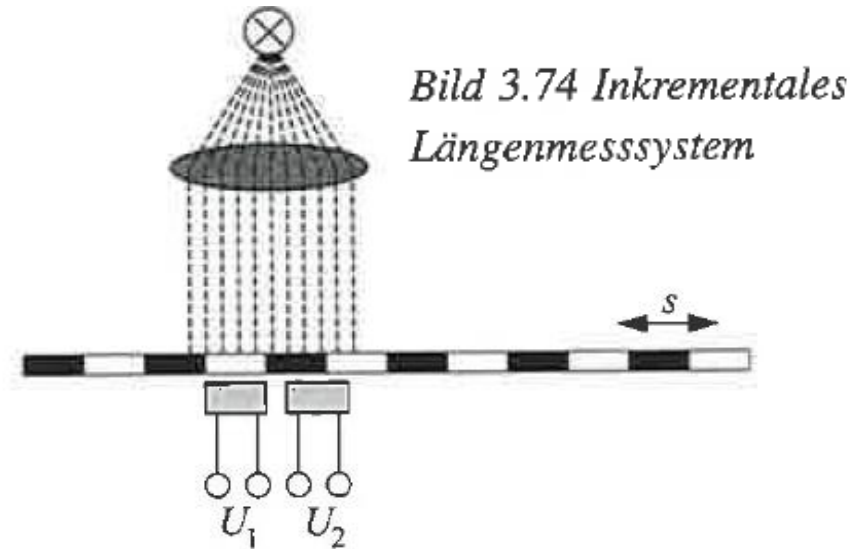


Bild 3.73 a) Kapazitiver Wegaufnehmer, b) Differenzialanordnung eines kapazitiven Wegaufnehmers

[Hoffmann, TB der MT]

# Optische Wegmessung (1)

- Glaslineal
  - Auflicht / Durchlicht
  - Inkrementell / codiert

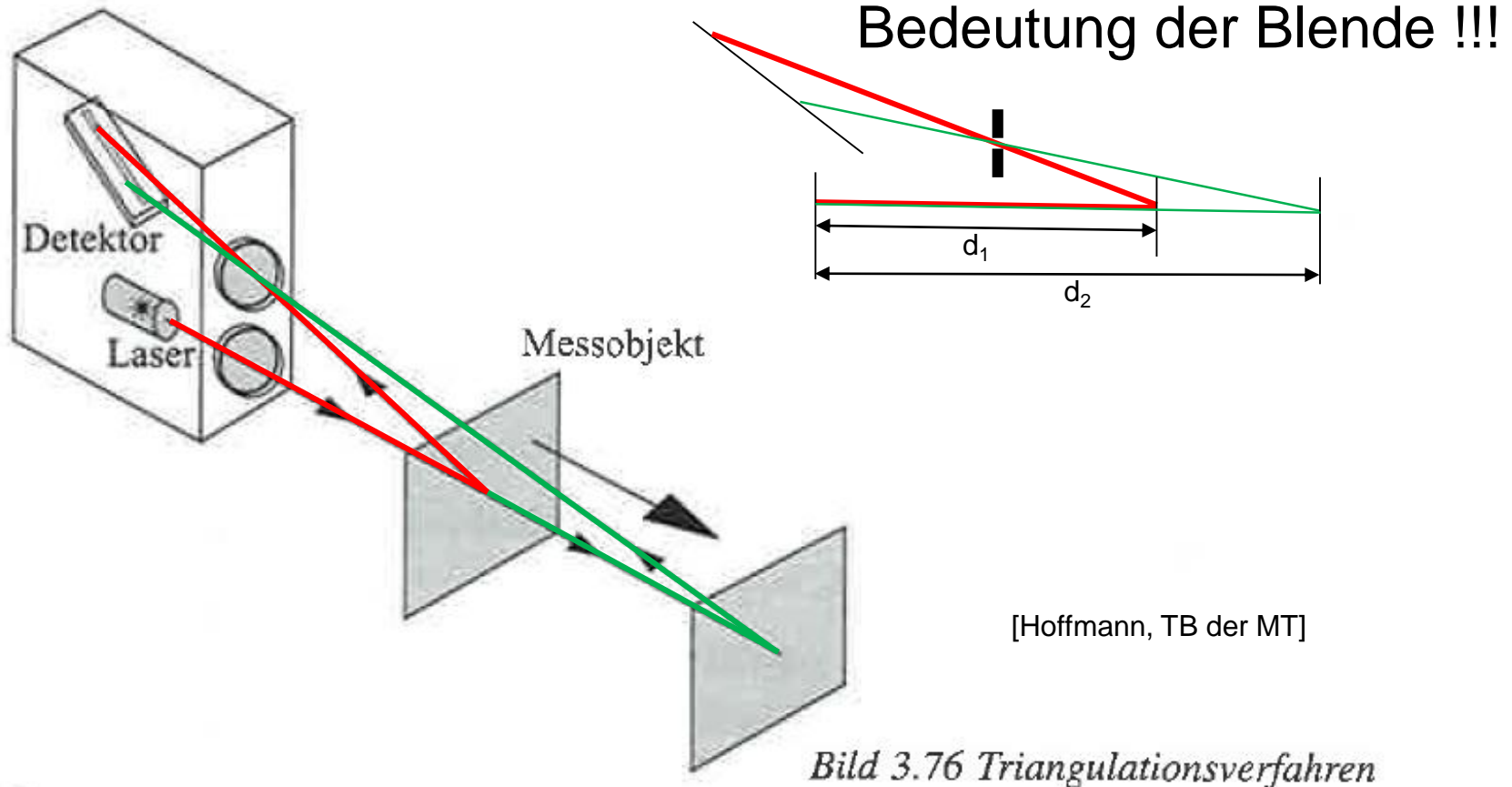


[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.75 Codierte Längenmesssysteme  
a) Dual-Code, b) Gray-Code

# Optische Wegmessung (2)

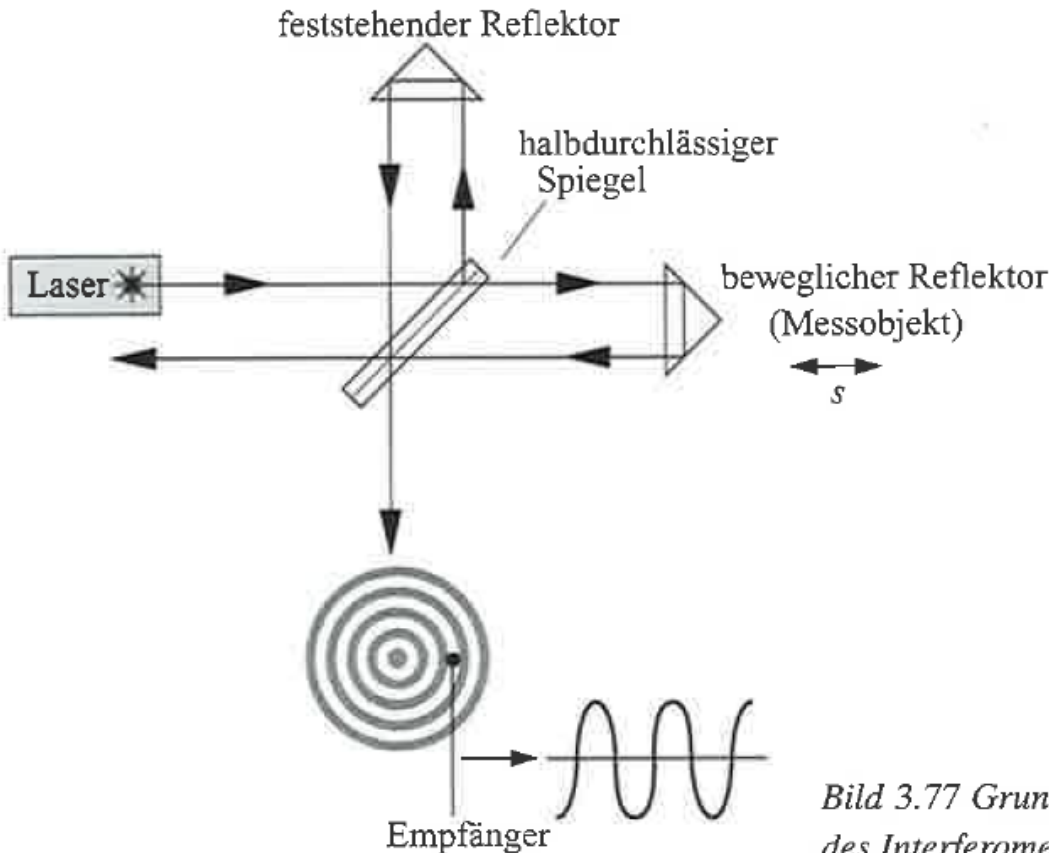
- Triangulationsverfahren



# Optische Wegmessung (3)

- Interferometer

Laserinterferometer:



$$s = n \frac{\lambda}{2}$$

$s$  ... Abstandsänderung  
 $n$  ... Zahl der Nulldurchgänge  
 $\lambda$  ... Lichtwellenlänge

Bild 3.77 Grundprinzip des Interferometers

[Hoffmann, TB der MT]

# Winkel

*Einheit Grad(360), Gon(400), Radiant( $2\pi$ )*

- ähnlich wie Weg
- optisch (Auflicht/Durchlicht; inkrementell/codiert)
- kapazitiv ( $\rightarrow$  Brasseur)
- resistiv

$\rightarrow$  *Tabelle 3.2*

Tabelle 3.2 Winkelaufnehmer

Inkrementale Winkelaufnehmer (→ Inkrementale Längenmesssysteme)	
Codierte Winkelaufnehmer (→ Codierte Längenmesssysteme)	

Tabelle 3.2 Winkelaufnehmer (Fortsetzung)

Kapazitive Winkelaufnehmer	
Resistive Winkelaufnehmer	
Ringrohrwinkelaufnehmer	



Bild 3.119 Impulsscheibe für Inkremental-Drehgeber

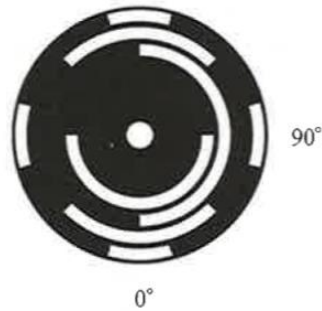
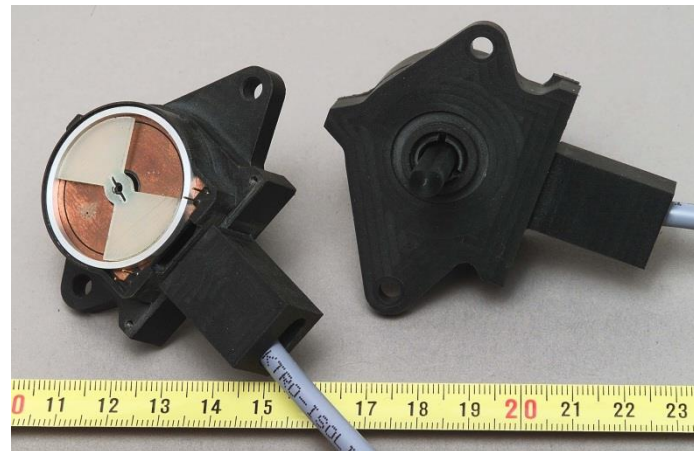
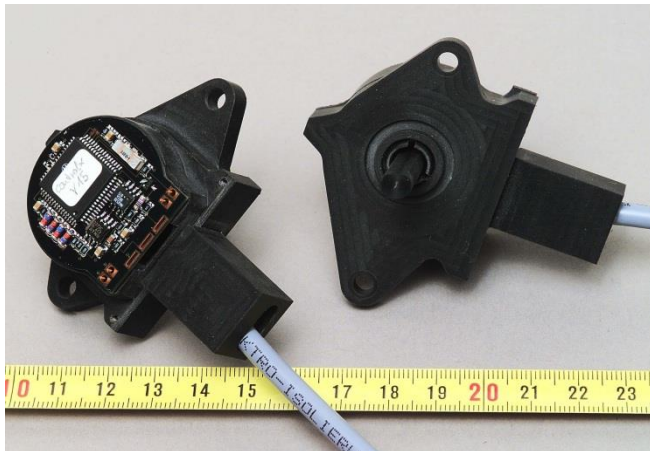
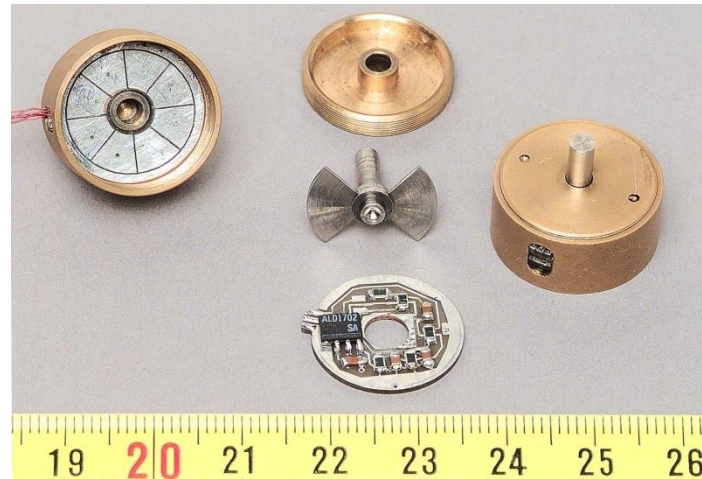


Bild 3.120 Codescheibe für Absolut-Drehgeber mit einschrittigem Positionscodier

[Hoffmann, TB der MT]

# Ratiometrisch messende kapazitive Winkelsensoren - Prototypen



(→ Brasseur)

# Winkelsensor (Serienmodell)



(→ Brasseur)



# Position

Positionierung ist Einstellung der Lagegenauigkeit eines Teiles in Bezug auf einen definierten Ort.

Positionierung im Raum 1-, 2- oder 3-dimensional

*Szenen-Koordinatensystem m*

→ Video SLAM

Localization (der Kamera)

# Physikalische Effekte

## Hall-Effekt in Halbleitern

Ablenkung der Ladungsträger durch die Lorentz-Kraft  $\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$

- Hall-Spannung → Sensor: *Hall-Element*
- Hall-Widerstand → Sensor: *Feldplatte*

# Hall-Element

- Streng lineare Kennlinie
- Einsatz als Endlagenschalter
- Sensoren als komplette Schaltkreise mit Konstantstromquelle, Verstärker, Schwellwertschalter

$$U_H = c_H \frac{I \cdot B}{d}$$

$U_H$  ... Hall-Spannung

$c_H$  ... Hall-Konstante

$I$  ... Strom

$B$  ... Magnetflussdichte

$d$  ... Dicke des Plättchens

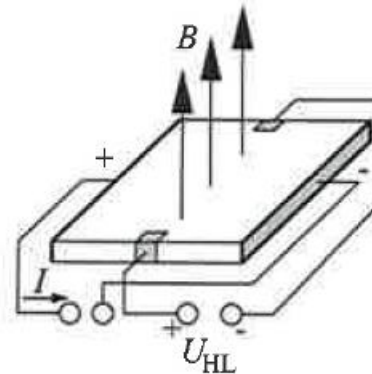


Bild 3.83 Hall-Effekt an einem Halbleiter

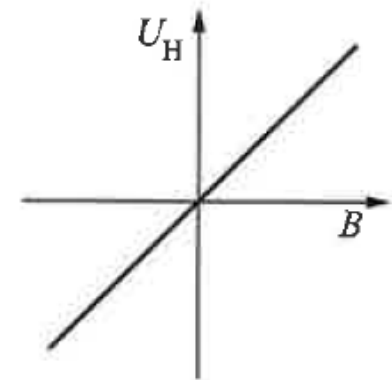


Bild 3.84 Kennlinie eines Hall-Elementes

[Hoffmann, TB der MT]

# Feldplatte

- Nichtlinear → Brückenschaltung oder Vormagnetisierung
- Hohe Empfindlichkeit (bei langem Stromweg) durch metallische Einschlüsse, Mäander

$$R_B = R_0(1 + kB^2)$$

$R_B$  ... Widerstand

$R_0$  ... Widerstand bei  $B = 0$

$B$  ... Magnetflussdichte

$k$  ... Konstante

$\Delta R$  unabhängig von  
Richtung des Magnetfeldes

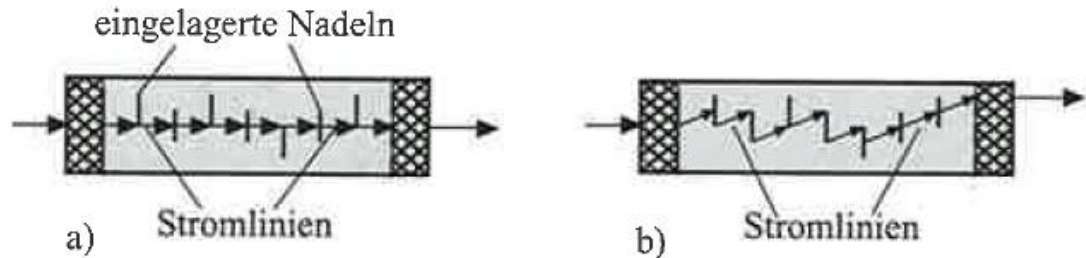
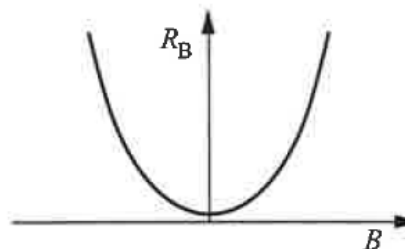


Bild 3.87 Wirkungsweise der Feldplatte

a) ohne Einwirkung eines Magnetfeldes, b) bei Einwirkung eines Magnetfeldes



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.86 Kennlinie einer Feldplatte

# Optische Positionsbestimmung

Lichtschranken

Spaltsensoren (zB Quadrantensensor)

Sender: LEDs

Empfänger: Fototransistor, Fotodiode

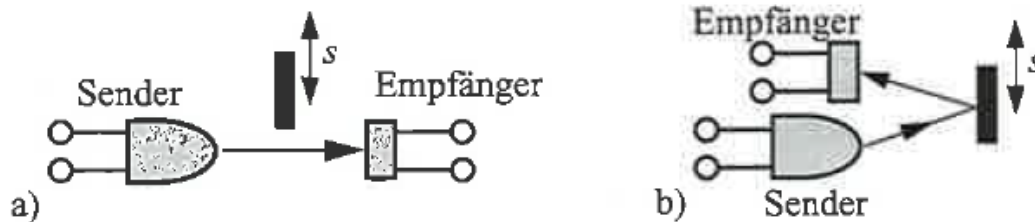


Bild 3.81 a) Einweglichtschranke, b) Reflexlichtschranke

[Hoffmann, TB der MT]

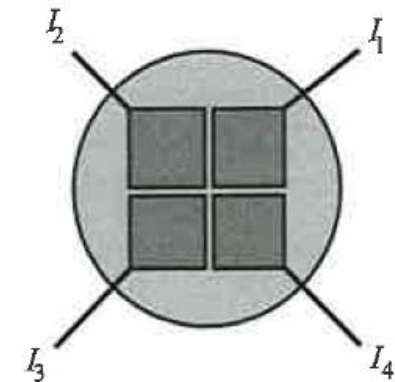
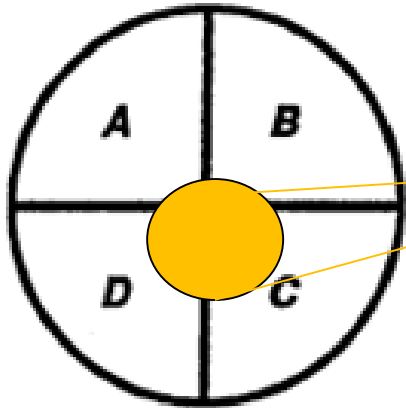


Bild 3.82 Aufbau eines Quadrantensensors

# Spaltsensoren

Lichtquelle

**Quadrant Detector**



Blende



$$X \text{ Position} = \frac{(A+D) - (B+C)}{A+B+C+D}$$

$$Y \text{ Position} = \frac{(A+B) - (D+C)}{A+B+C+D}$$



6 DoF  
real-time !

UNC HiBall Tracker [Welch & Bishop, 1997]  
SCAAT algorithm – single constraint at a time

# Dehnung

*Relative Längenänderung  $\Delta l / l$*

Physikalischer Effekt:

Widerstands-Änderung

Realisierung:

Dehnmessstreifen (DMS)

Grundsätzlich: *jede* Art der Wegmessung möglich!

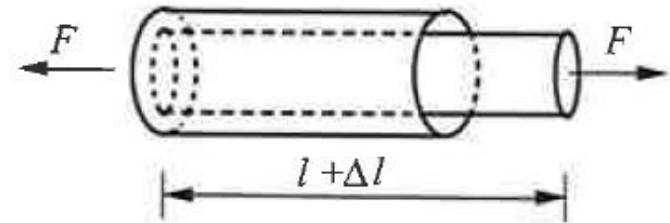


Bild 3.90 Drahtdehnmessstreifen

[Hoffmann, TB der MT]

$$R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - 2 \frac{\Delta d}{d}$$

# Empfindlichkeit $k$ von Dehnmessstreifen

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - 2 \frac{\Delta d}{d}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \left( \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\frac{\Delta l}{l}} + 1 - 2 \frac{\frac{\Delta d}{d}}{\frac{\Delta l}{l}} \right) \frac{\Delta l}{l}$$

Dehnung  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ ,    Poisson'sche Zahl  $\mu = -\frac{\frac{\Delta d}{d}}{\frac{\Delta l}{l}}$ ,     $k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}$

$$\frac{\Delta R}{R} = \left( \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\epsilon} + 1 + 2\mu \right) \epsilon = k\epsilon$$

$$k = \left( \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\epsilon} + 1 + 2\mu \right)$$



# Metall – DMS: Änderung der Geometrie

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx 0 \Rightarrow k = 1 + 2\mu$$

$$k_{max} \approx 2$$

Es gibt Bauarten als Draht- oder Folien-DMS

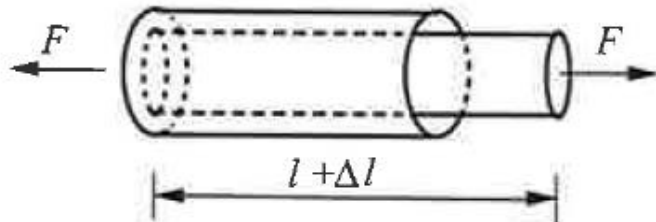


Bild 3.90 Drahtdehnmessstreifen

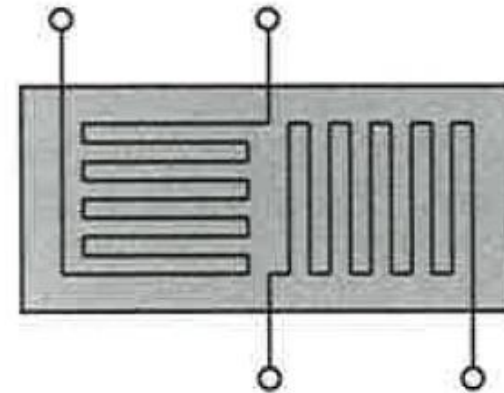


Bild 3.91 Zwei Foliendehnmessstreifen mit um 90° versetzten Beanspruchungsrichtungen

[Hoffmann, TB der MT]

# Halbleiter – DMS: Piezoresistiver Effekt

Piezoresistiver Effekt:  $\epsilon \rightarrow$  starke Änderung des spez. Wid.  $\rho$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \gg \Rightarrow k \approx \frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{1}{\epsilon}$$

$$k_{max} \approx 130$$

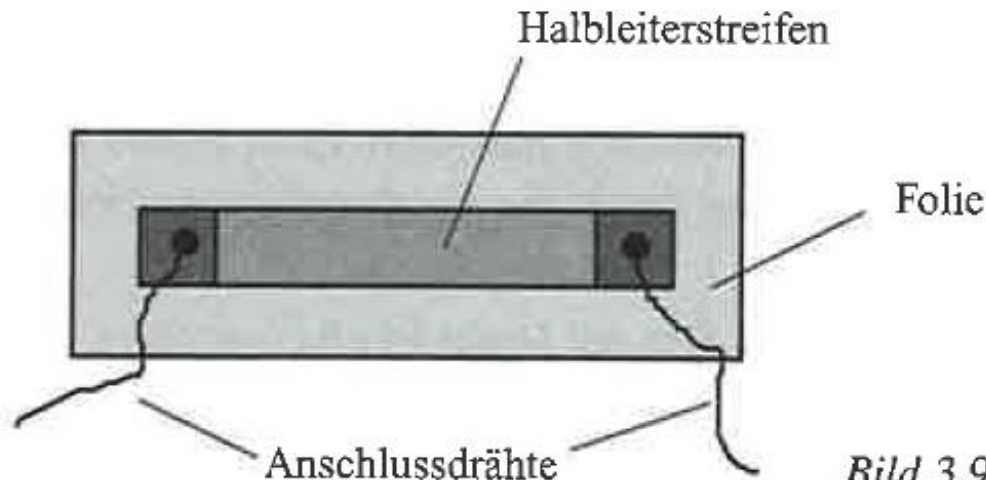
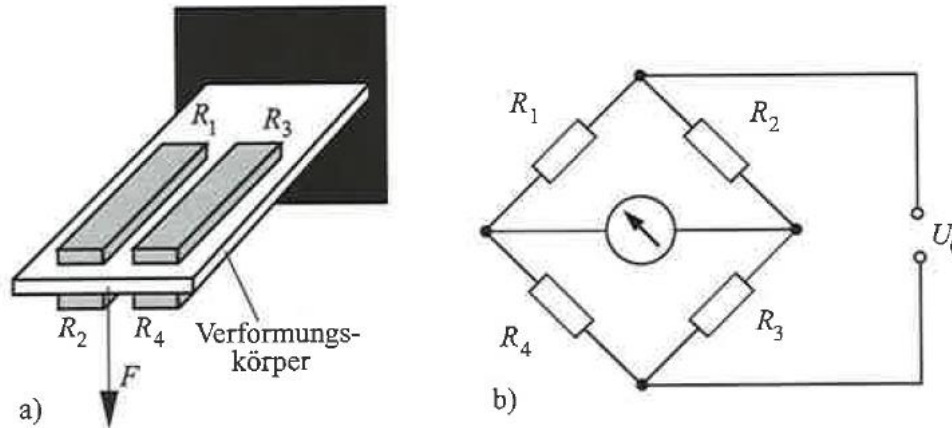


Bild 3.92 Halbleiterdehnmessstreifen

[Hoffmann, TB der MT]

# Anordnungen von DMS

- Temperatureinfluss minimieren
  - Differenzprinzip zur Unterdrückung von Gleichtaktstörungen
  - Vollbrücke (Dehnung / Stauchung wirkt gegensinnig, Temperaturänderung gleichsinnig) → *Parallelstruktur!*



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.93 Dehnmessstreifen in einer Vollbrücke  
a) Anordnung, b) Schaltung

- Referenz-DMS (identische Temperatur, keine Dehnung)
- Selbsttemperaturkompensierende DMS  
Anpassung des Wärmeausdehnungskoeffizienten an den Verformungskörper

# Kraft

*Einheit: Newton*  $N = \text{kg m s}^{-2}$

Piezoelektrische Kraftsensoren

Magnetoelastische Kraftsensoren

Kraftmessung durch Wegmessung:

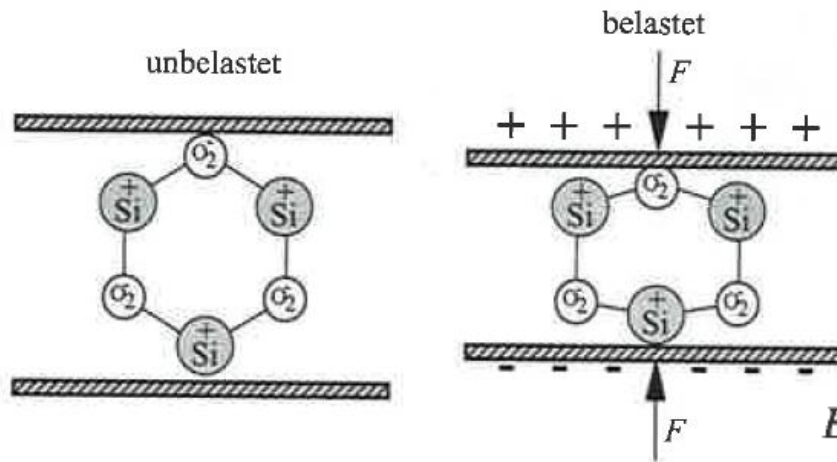
- Induktive, kapazitive, DMS- Kraftsensoren
- Schwingsaitenaufnehmer

Druckmessung durch Kraftmessung:

- bei definierter Fläche:  $F = p \cdot A$

# Piezoelektrischer Effekt

- Piezoelektrischer Effekt
  - elektrisch polarisierte Kristalle:
    - Material erhitzen (zB Quarz  $\text{SiO}_2$ )
    - Gleichfeld anlegen  $\rightarrow$  Ausrichten der Dipole
    - Im Gleichfeld Abkühlen  $\rightarrow$  Ausrichtung bleibt erhalten
  - Krafteinwirkung  $\rightarrow$  Verschiebung d. Moleküle  $\rightarrow$  Ladungen an Kontaktierungen



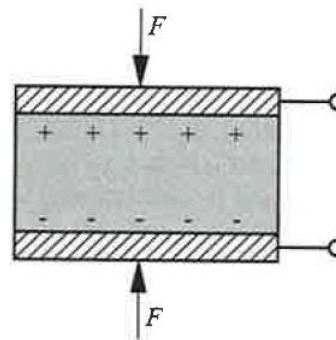
[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.94 Prinzip des piezoelektrischen Effektes

# Piezoelektrische Kraftsensoren

- Kristall unter Krafteinwirkung  $\Leftrightarrow$  geladener Kondensator  

$$U=Q/C$$
- Spannung  $U$  proportional zur Kraft  $F \rightarrow$  *streng linear*
- Bezug Polarisationsrichtung  $\Leftrightarrow F$ : Längseffekt, Quereffekt, Schereffekt
- $Q$  *nur* abhängig von Längen- bzw. Dickenänderung, *nicht* von Geschwindigkeit, Beschleunigung
- Gefahr von Ladungsausgleich  $\rightarrow$  besser geeignet für *dynamische* Messungen



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.95 Aufbau eines piezoelektrischen Kraftaufnehmers

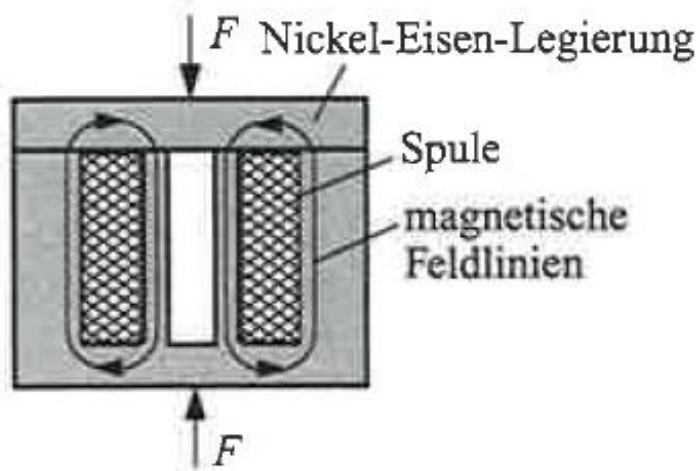
# Magnetoelastische Kraftsensoren

## Magnetoelastischer Effekt:

- Änderung der Permeabilität  $\mu_r$
- Druck:  $\mu_r \downarrow$ , Zug:  $\mu_r \uparrow$

Für große Kräfte ( $> 1000 \text{ N}$ )

Nur  $F$ , fast weglose Messung



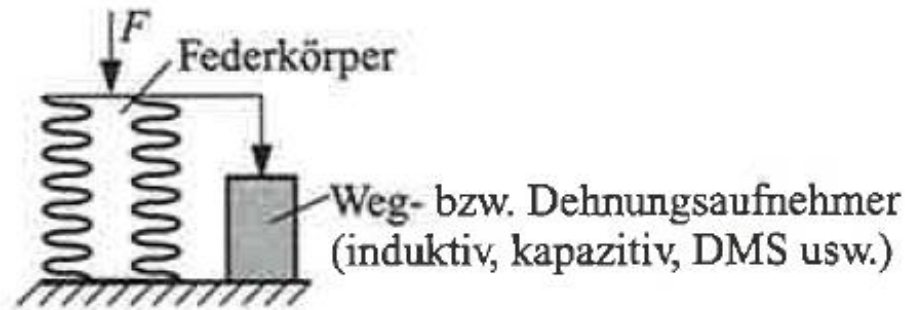
[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.96 Magnetoelastische Kraftmessaufnehmer*

# Induktive, Kapazitive, DMS-Kraftensoren

Kraft auf Federkörper  $\rightarrow$  Weg/Dehnung  $\rightarrow$  Wegmessung

Viele mögliche Federkörper



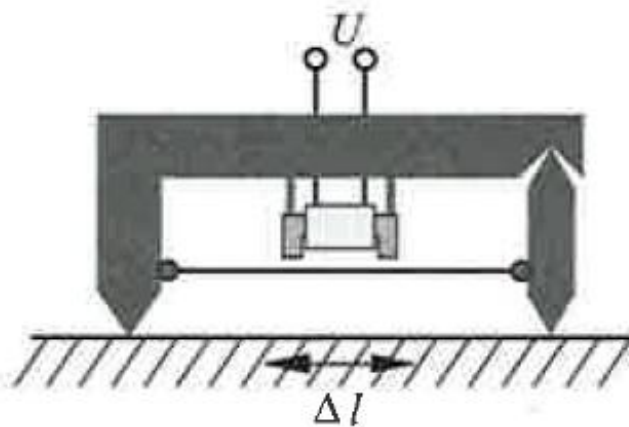
[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.97 Prinzip der Kraftmessung mit Federkörper*



# Schwingsaitenaufnehmer

- Spannkraft einer Saite messen
- Änderung der Eigenfrequenz  $f_0$
- Verwendung für Dehnung, Masse, Kraft, Druck, Temperatur
- Hohe Stellkräfte, gute Langzeitstabilität, große Messlänge
- Anwendung Bauwerksüberwachung
- Erregung induktiv, Aufnahme der freien Schwingung kapazitiv



$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{ml}}$$

[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.98 Prinzip eines Schwingsaitenaufnehmers

# Beschleunigung / Schwingung

$$[a] \text{ m s}^{-2}$$

## Bewegungsgrößen:

- Weg  $z$ , Geschwindigkeit  $v = dz/dt$
- Beschleunigung  $a = dv/dt = d^2z/dt^2$

## Kraftwirkungen:

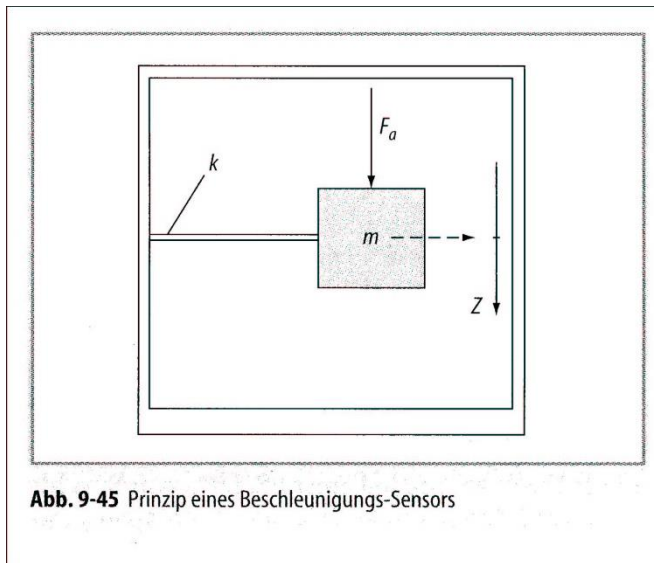
- Kraft, Moment, Dehnung

$$F = m \cdot a$$

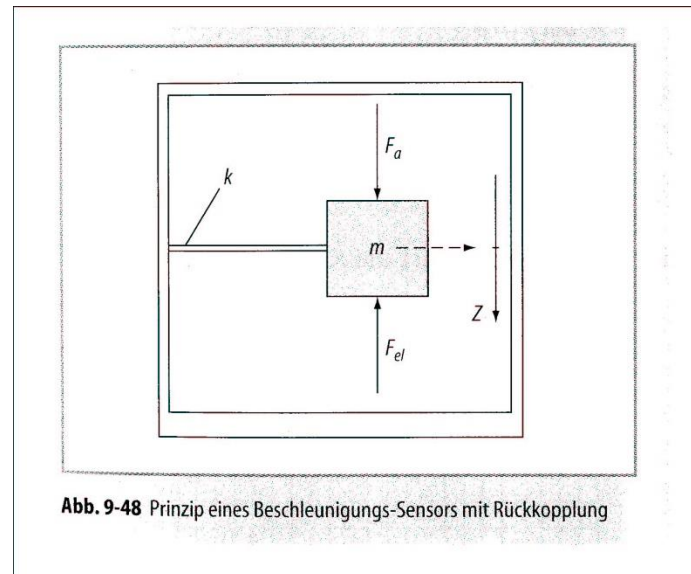
Grundprinzip: Wirkung von  $a$  auf gedämpftes Feder-Masse-System messen

# Feder/Masse System ohne/mit Rückkopplung

Dämpfung durch viskoses Medium z.B. durch Füllung mit Öl



Weg-/Geschwindigkeitsmessung



Nullindikation, Kompensation

[Tränkler, Obermeier, Sensortechnik]

Grosses  $k \rightarrow$  kleine Auslenkung  $\rightarrow$  Wegmessung

Kleines  $k \rightarrow$  grosse Auslenkung, evtl. Relativgeschwindigkeit

# Statisch/Dynamisch

## Statisch:

- Konstante Beschleunigung
- Masse hat Endlage erreicht

## Dynamisch:

- Beliebige zeitliche Verläufe:  $m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + c \frac{dz(t)}{dt} + kz(t) + ma(t) = 0$

- Sinusförmige Bewegung des Gehäuses mit Amplitude  $A$ :

$$m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + c \frac{dz(t)}{dt} + kz(t) = m\omega^2 A \sin \omega t$$

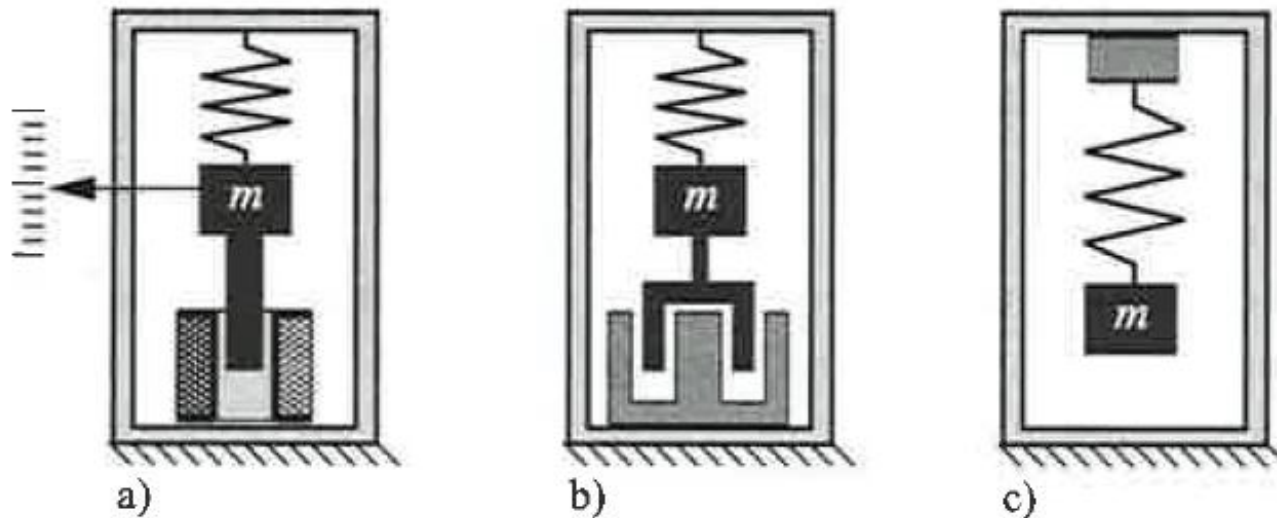
- Nach Abklingen des Einschwingvorganges:

$$z = Z \sin(\omega t + \varphi)$$

→ „Schwingungsmessung“ in [Hofmann TB der MT]

# Schwingungsmessung

Weg / Geschwindigkeit (Schnelle) / Kraft ( $=m \cdot a$ )



*Bild 3.100 Schwingungsmessung mit Absolutbewegungsaufnehmern  
 a) Schwingwegmessung, b) Schwinggeschwindigkeits-(Schnelle-)Messung,  
 c) Schwingbeschleunigungsmessung*

[Hoffmann, TB der MT]

# Sensorprinzipien (1)

Kapazitiv

→ *Abb. 9-53, Bild 3.101.c*

Magnetisch/induktiv → Hall-Element, Feldplatte

Piezoelektrisch

→ *Abb. 9-57, Bild 3.101.a*

Piezoresistiv

→ *Abb. 9-55, 9-56, Bild 3.101.b*

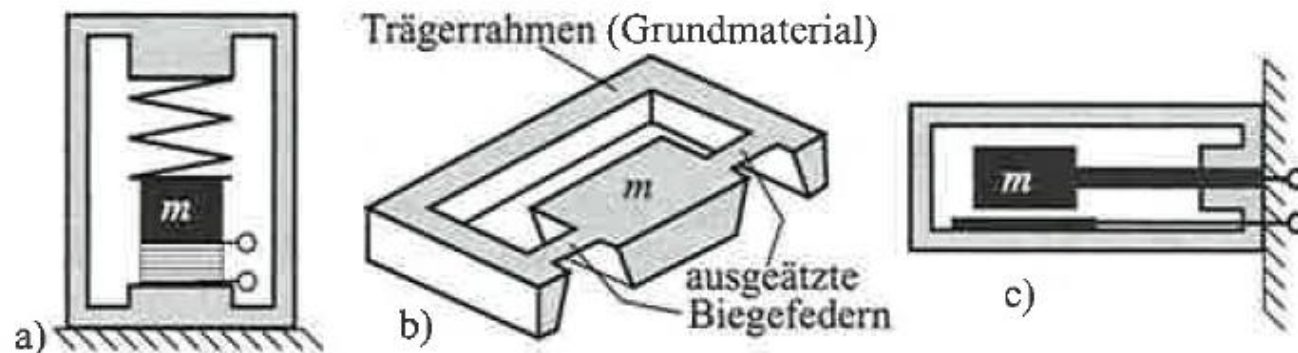
Verschiedene elastische Kopplungen der seismischen Masse

→ *Abb. 9-58*

Silicon-Micromachines

→ *Bild 3.101.b*

z.B. MT9, auch f. **Drehraten (Winkelgeschwindigkeiten)**



[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.101 Beschleunigungssensoren  
a) piezoelektrischer Beschleunigungssensor,  
b) monolithischer Si-  
c) kapazitiver Beschleunigungssensor*

# Sensorprinzipien (2)

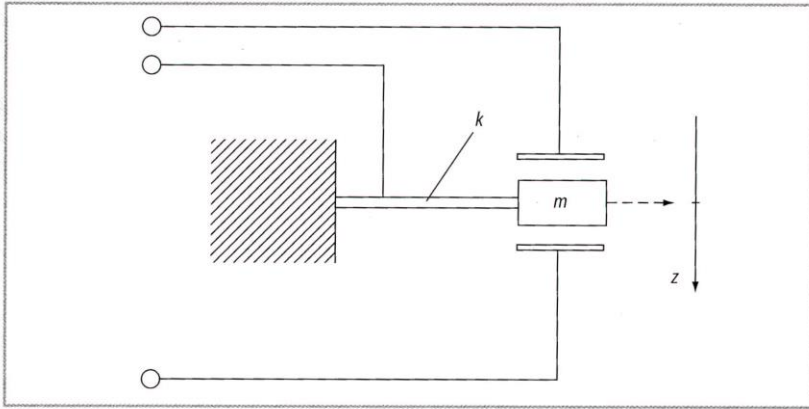


Abb. 9-53 Prinzip kapazitiver Beschleunigungs-Sensoren

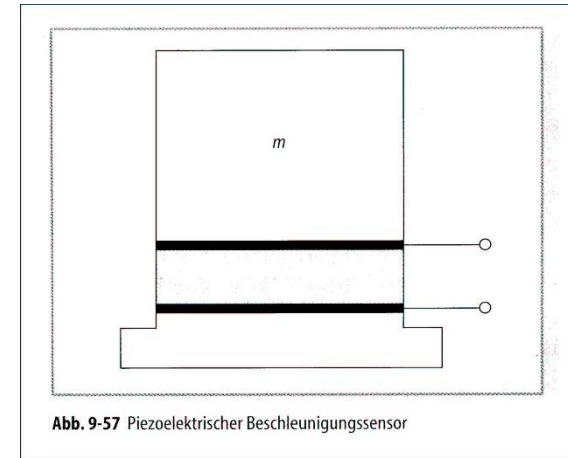


Abb. 9-57 Piezoelektrischer Beschleunigungssensor

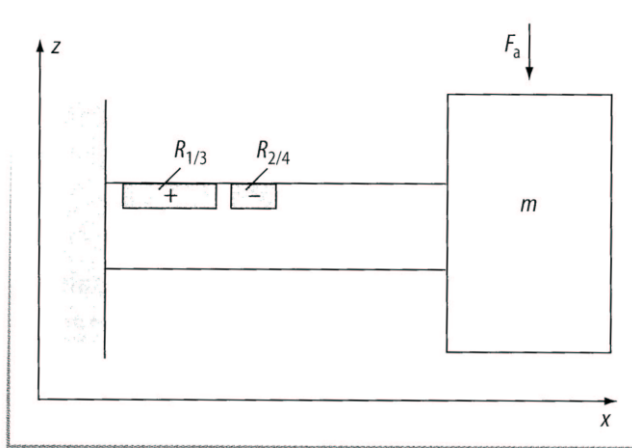


Abb. 9-55 Piezoresistiver Beschleunigungs-Sensor

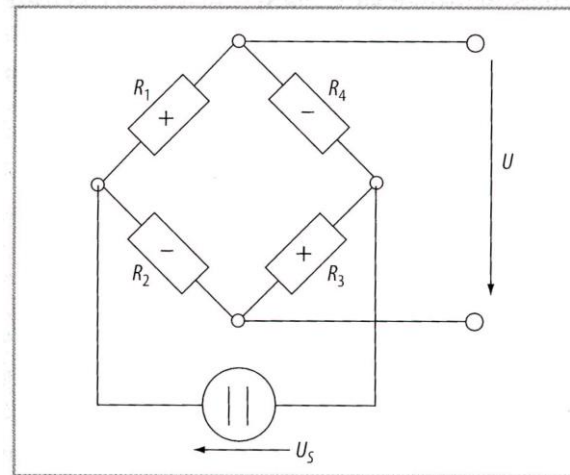


Abb. 9-56 Brückenstellung für piezoresistive Sensoren

[Tränkler, Obermeier, Sensortechnik]

# Kopplung der seismischen Masse

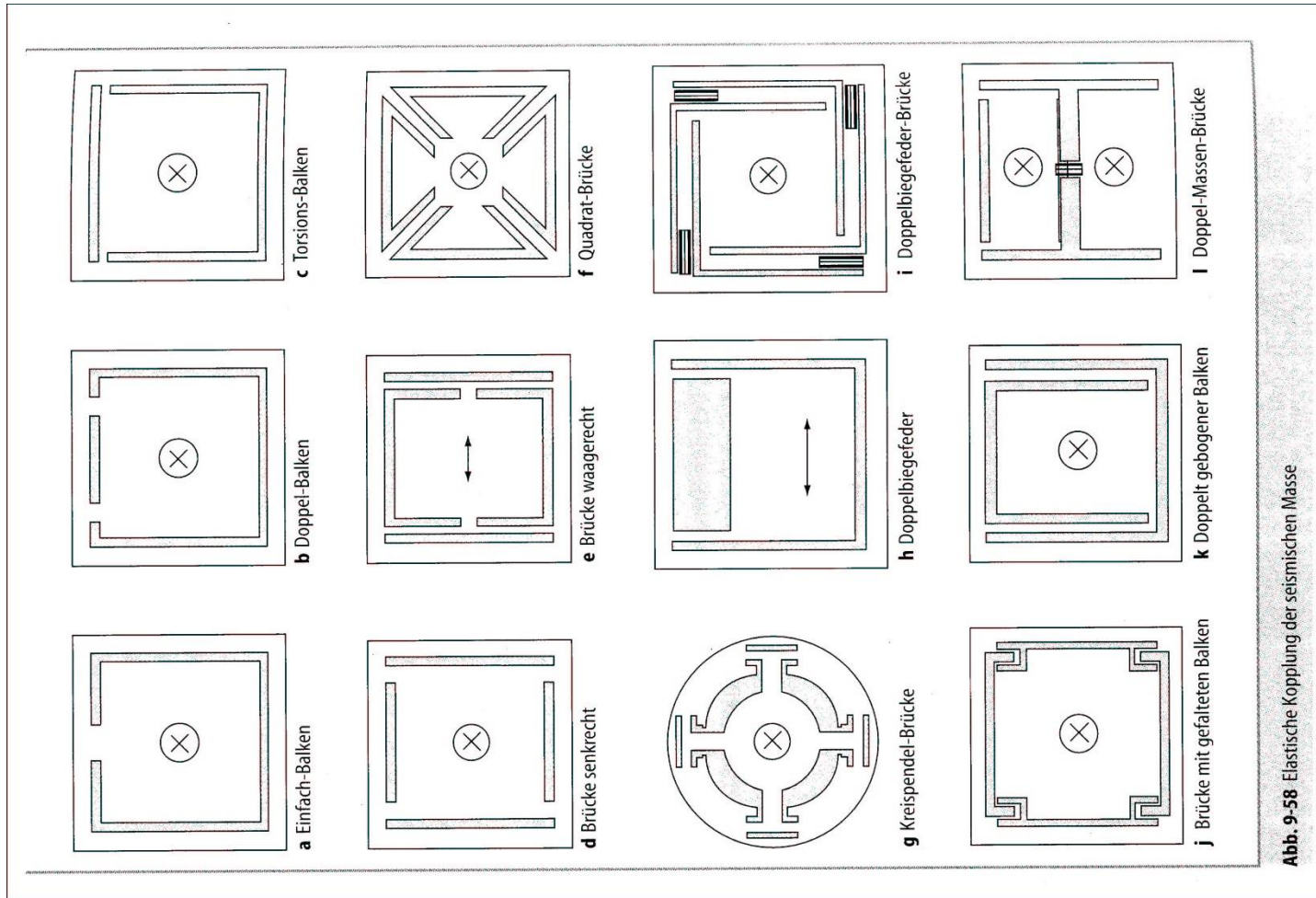


Abb. 9-58 Elastische Kopplung der seismischen Masse

[Tränkler, Obermeier, Sensortechnik]

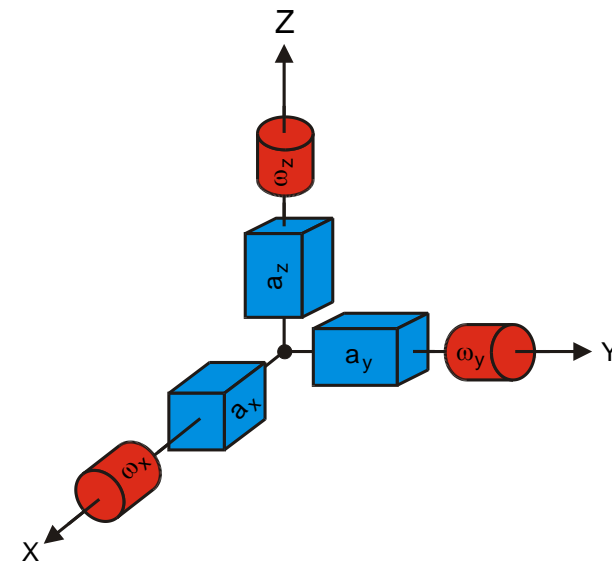
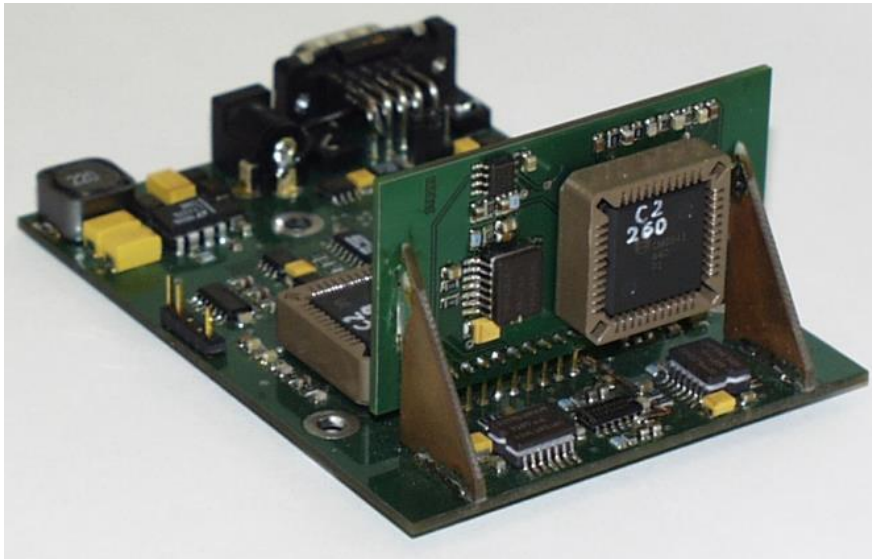


# Achtung – $g$ !

Auch die Erdbeschleunigung  $g$  ist eine Beschleunigung  $\rightarrow$  wird mitgemessen !

Kalibrierung nötig !

EMT 6 DoF Inertialsensor



# 6 DoF Inertialsensor Xsens – „Normalbetrieb“

Demo:  
Drehrate



# 6 DoF Inertialsensor Xsens – Sättigung!

Demo:  
Drehrate



# EMT 6 DoF Inertialsensor Fusion Inertial + Vision



# EMT 6 DoF Inertialsensor Fusion Inertial + Vision



# Upper Body Tracking (D. Stricker, DFKI)



<http://av.dfkf.de/videos/>

See also their video: “full body motion tracking using 10 wireless IMUs”

# Masse

[m] kg

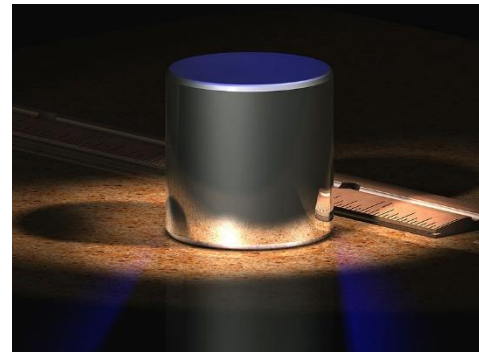
*Eigenschaft der Materie, physikalische Grundgröße  
träge/schwere Masse, 1 dm<sup>3</sup> Wasser bei 4°C*

Gewichtskraft  $G$  proportional  $m$ :  $G=m \cdot g$

Vergleichen von  $G$  mit Vergleichskraft

- Gewichtskraft einer bekannten Masse
- Feder
- Verformungskörper
- Magnetfeld
- Etc.

➔ Kraftmessung



„Urkilogramm“:  
Platinzylinder  
39mm Höhe  
39mm Ø  
90% Platin  
10% Iridium

# Waagen

Mechanisch

→ Bild 3.102

Elektrodynamische Kompensationswägezelle

→ Bild 3.103

DMS Wägezellen

→ Bild 3.104

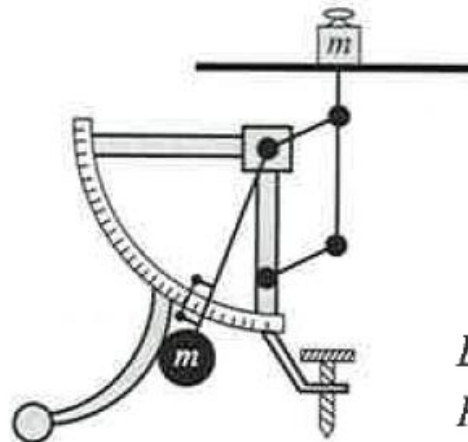
Ringtorsionswägezelle

→ Bild 3.105

Interferenzoptisch

→ Bild 3.106

Hydraulisch, magnetoelastisch, ...

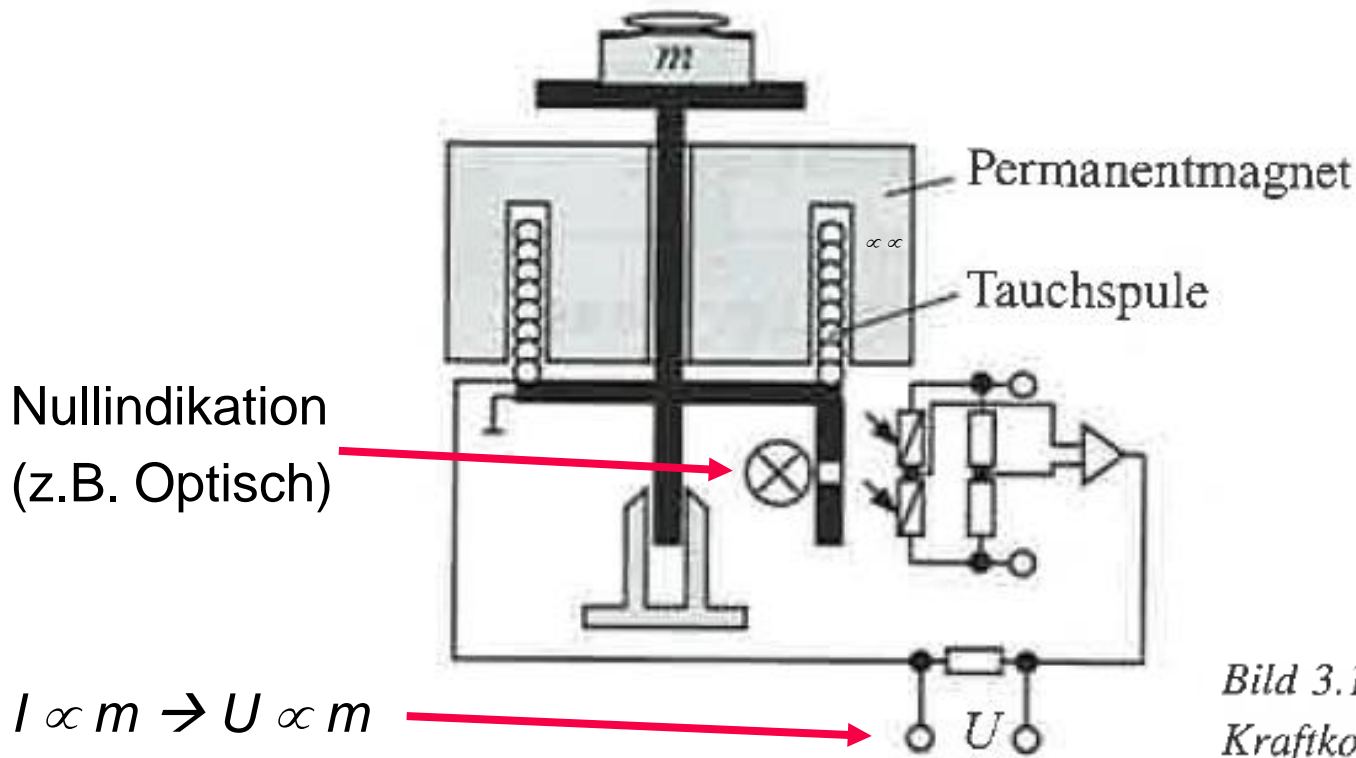


[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.102 Neigungswaage mit  
Parallelogrammführung*



# Elektrodynamische Kompensationswägezelle



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.103 Elektrodynamische Kraftkompensationswägezelle

# DMS Wägezelle



Bild 3.104 DMS-Wägezelle

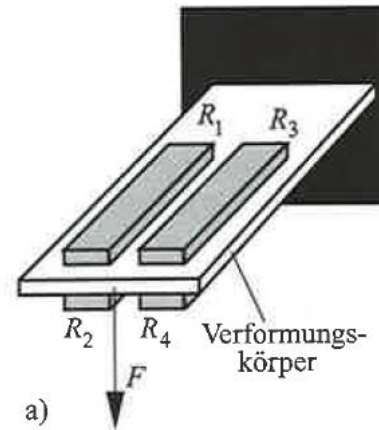
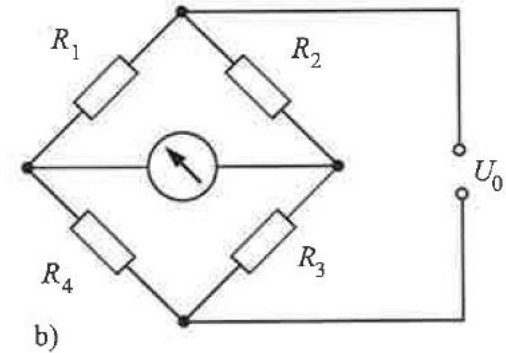


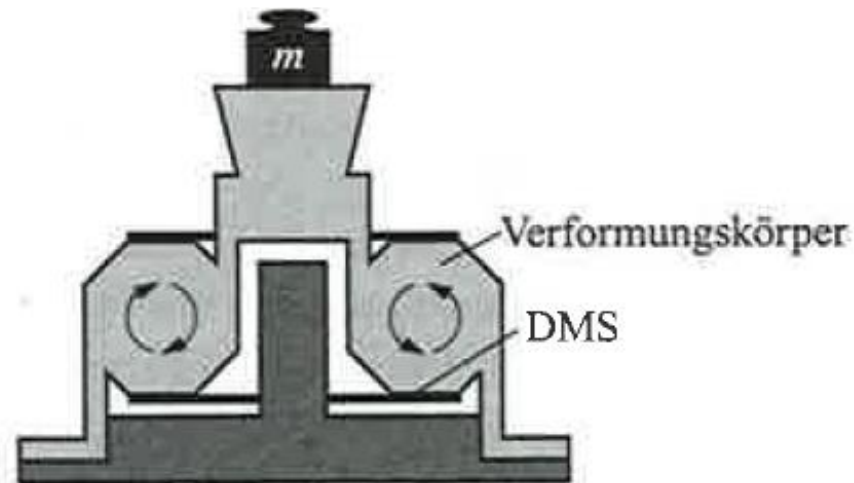
Bild 3.93 Dehnmessstreifen in einer Vollbrücke  
a) Anordnung, b) Schaltung



[Hoffmann, TB der MT]

# Ringtorsionswägezelle

Für grosse Massen  $m \gg$



*Bild 3.105 Ringtorsionswägezelle*

[Hoffmann, TB der MT]

# Interferenzoptische Wägezelle

Für kleine Massen  $m \ll$

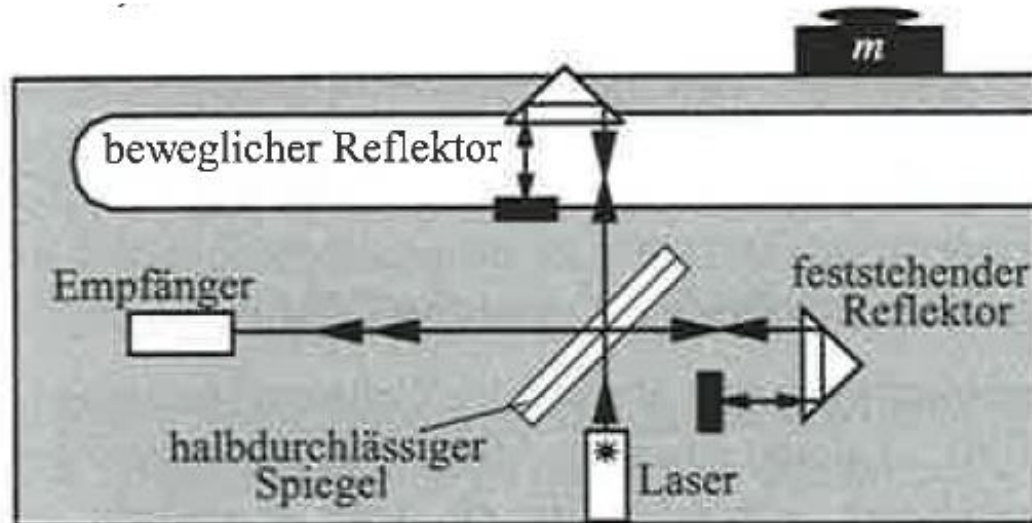


Bild 3.106 Interferenzoptische Wägezelle

[Hoffmann, TB der MT]

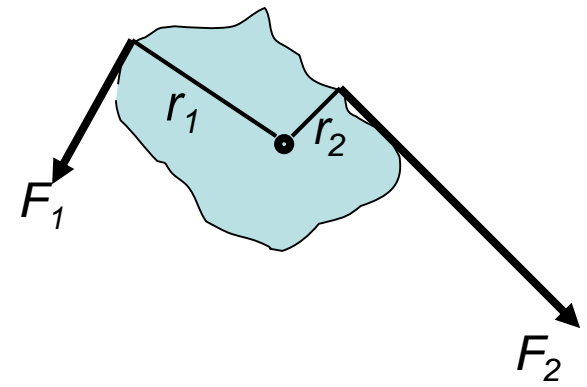
# Drehmoment

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{r} \quad \text{Nm}$$

Wenn  $F \perp r$ :

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

(Hebelgesetz)



Welle  $\rightarrow$  Torsionsspannung  $\rightarrow$  Verformung

# Drehmomentmessung

## DMS

- Maximale Dehnungen bei  $45^\circ$ ,  $135^\circ$



Bild 3.107 DMS-Drehmomentmessung

## Induktiv, kapazitiv

- Zwei aufgeflanschte Komponenten
- Verdrehung zueinander

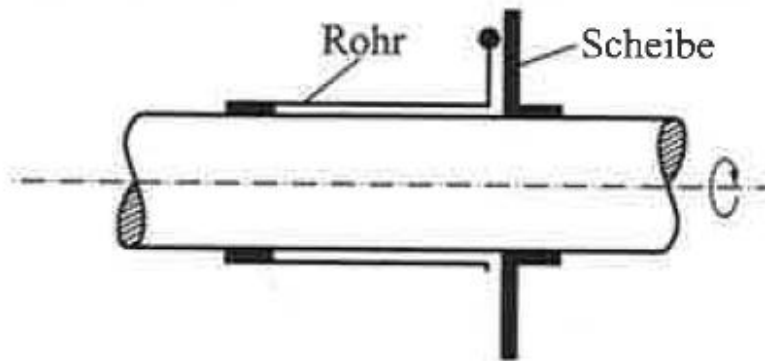


Bild 3.108 Induktive Drehmomentmessung

[Hoffmann, TB der MT]

## Magnetoelastisch, Schwingsaiten, ...

# Drehzahl

$[n]$  = Umdrehungen / Zeiteinheit

Bei technischer Drehzahlmessung oft U/Minute

Überwiegend berührungslos → vorwiegend optisch / induktiv

Oft gekapselt, da empfindlich

Sensoren: Optisch, induktiv, Hall, kapazitiv, ...

# Optische Drehzahlmessung

Blenden- / Lochscheibe rotiert mit

Durchlicht / Auflicht

Absolut- / Inkremental

Impuls-Verfahren

- Frequenz des Signals  $\propto n \cdot \text{\#Markierungen}$
- Impulsformung: Bandpass, Hysterese
  - Niederfrequente Anteile: Drift, Streulicht, etc.
  - Hochfrequente Störungen



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.119 Impulsscheibe für Inkremental-Drehgeber

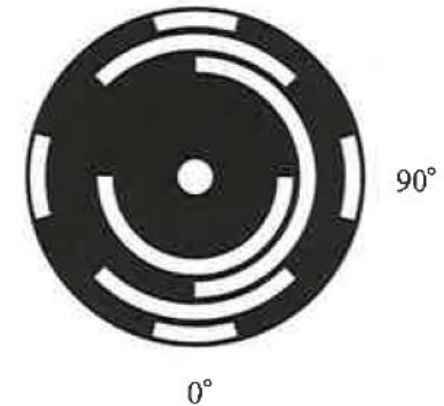


Bild 3.120 Codescheibe für Absolut-Drehgeber mit einschrittigem Positionscode



# Stroboskop

## Optisches Verfahren

- Sensor = menschliches Auge
- Signalverarbeitung = Gehirn

Visuelle Beurteilung bei kleinem  $n$

Rotierendes Objekt mit Markierung

Lichtblitze

Blitzfrequenz  $f_B$  verändern → *stehendes Bild erreichen*

*Achtung!* Mehrdeutiges Ergebnis

$$n = k f_B \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

# Resolver

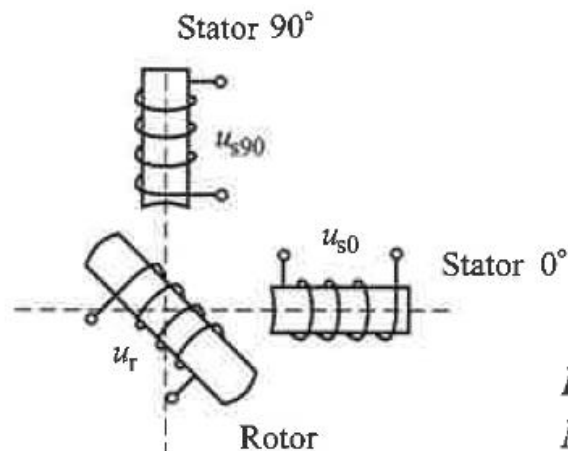
Induktiv

Drehmelder

Gespeister Rotor, 2 um 90 Grad versetzte Statorwicklungen

Induzierte Spannungen hängen vom Winkel ab

Winkel-Sensor, Drehzahl bis 12000/Min.



[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.121 Resolver, Prinzip der Messanordnung*

# Aktiver induktiver Sensor

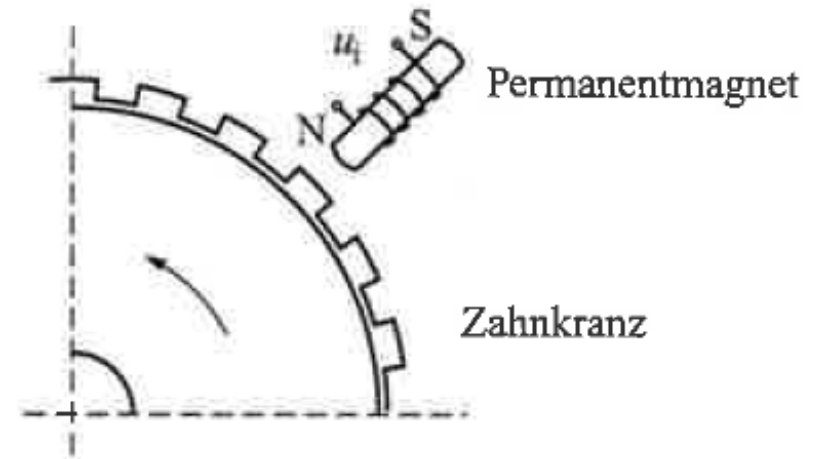
## Impulsverfahren

### Vorteile:

- Sehr robust (Temperatur, Verschmutzung)
- Verwendung vorhandener Zahnräder
- Keine Hilfsenergie

### Probleme:

- Drehzahlabhängige Amplitude
- Ferromagnetisches Zahnrad



[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.122 Induktiver Signalgeber in Drehzahlmessanordnung*

# Passiver induktiver Sensor

Spule mit Wechselfeld speisen

Feldrückwirkung erfassen

- Wirbelströme, Änderung von  $L$ , ...

Drehzahlmessung an nicht ferromagnetischen Teilen möglich

- Aluminium
- Messing
- Metallisierter Kunststoff
- ...

# Feldplatten und Hall-Sensoren

## Impulsverfahren

### Feldplatte:

- Drehzahl- und Drehrichtungserkennung
- Bis 0/Min. bei konstanter Amplitude

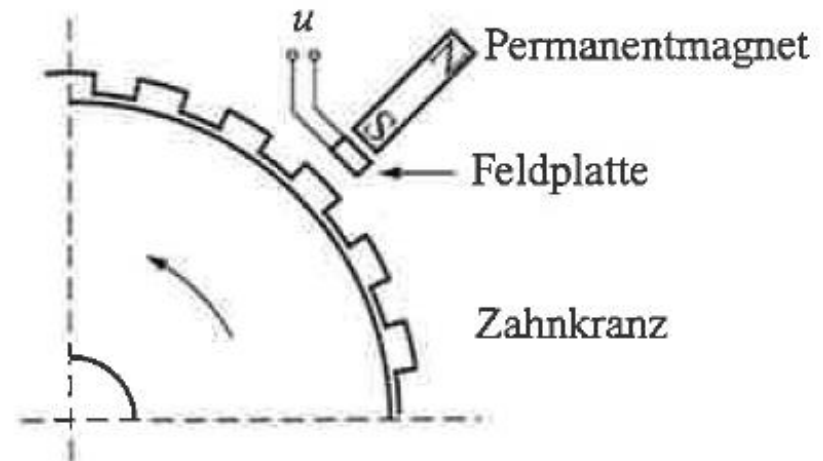
### Hall:

- Benötigen zusätzliche Energieversorgung

### Mechanisch empfindlich

[Hoffmann, TB der MT]

*Bild 3.123 Feldplatte in Drehzahlmessanordnung*



# Kapazitive Sensoren

Sehr robust (T, Schmutz, Öl, ...)

Annäherung feldverändernder Teile

→ Brasseur !

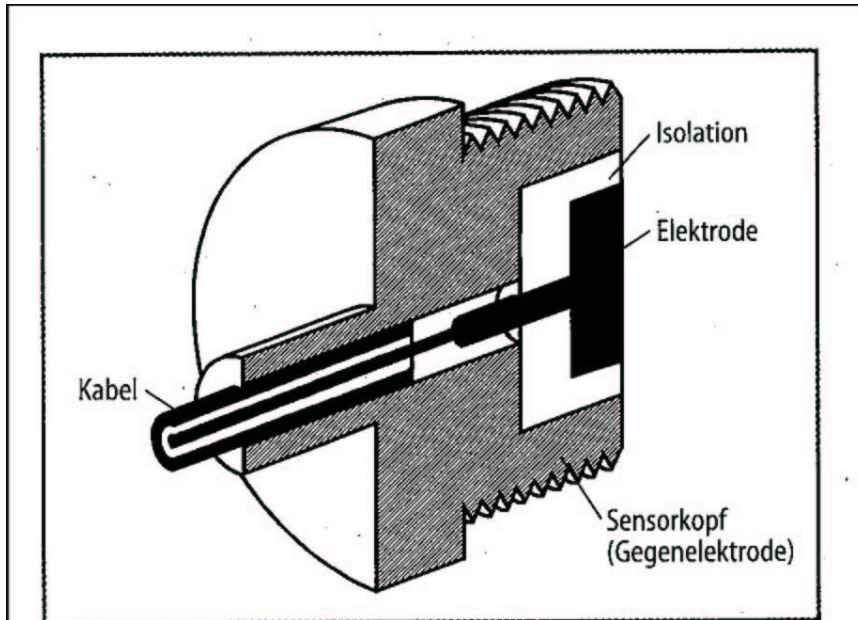
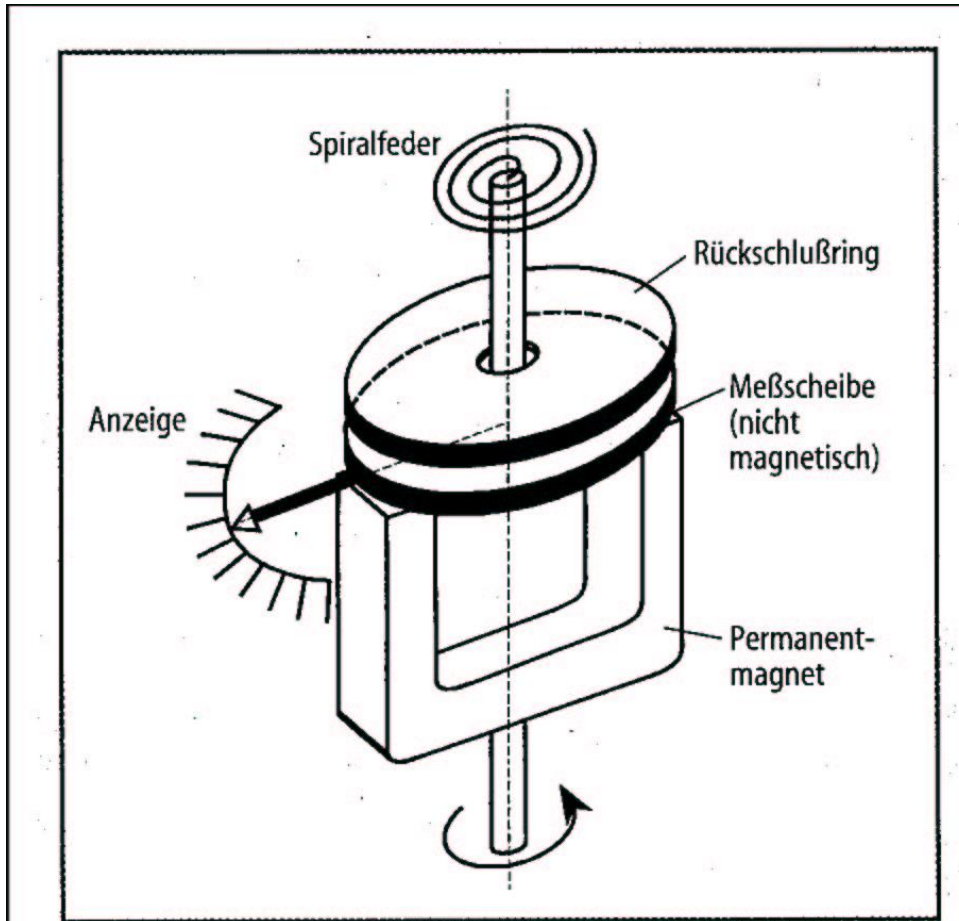


Abb. 12-5 Kapazitiver Drehzahlsensor



[Tränkler, Obermeier,  
Sensortechnik]

# Wirbelstrom-Drehzahlmesser(1)



- ← feststehend, schließt das Magnetfeld
- ← Wirbelströme, versuchen die Scheibe mitzudrehen
- ← Dreht sich mit

Abb. 12-1 Wirbelstromdrehzahlmesser

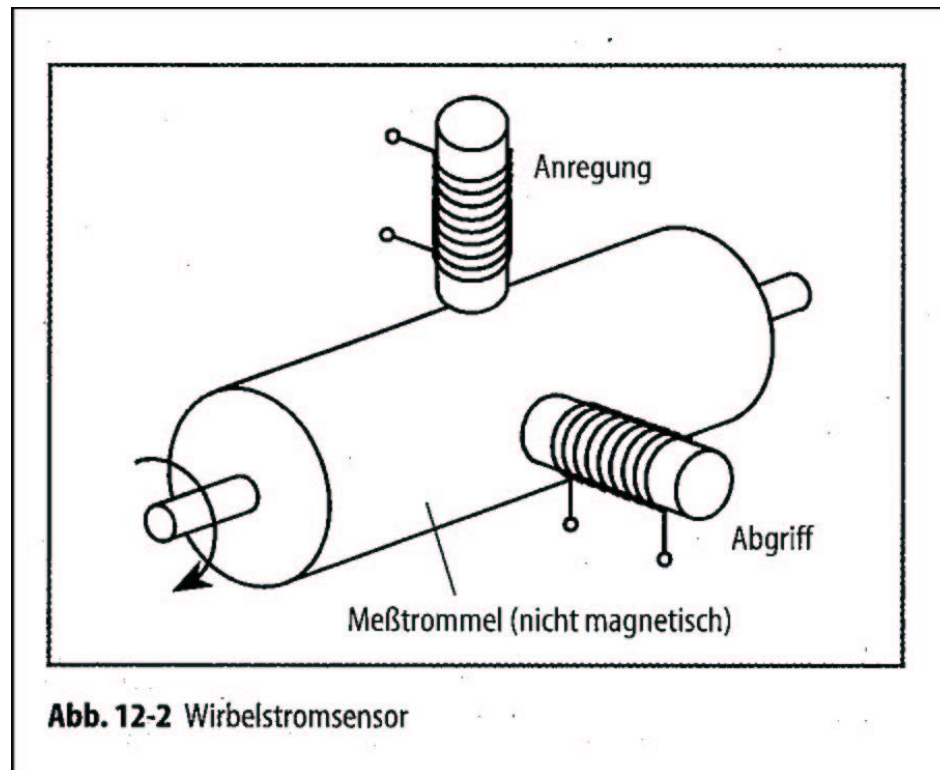
[Tränkler, Obermeier, Sensortechnik]

# Wirbelstromsensor (2)

Anregespule (Wechselspannung)

Wirbelströme werden durch Drehung mitgenommen

Spannung am Empfänger  $\propto n$



[Tränkler, Obermeier,  
Sensortechnik]



# Wiegandsensor

## Wieganddraht:

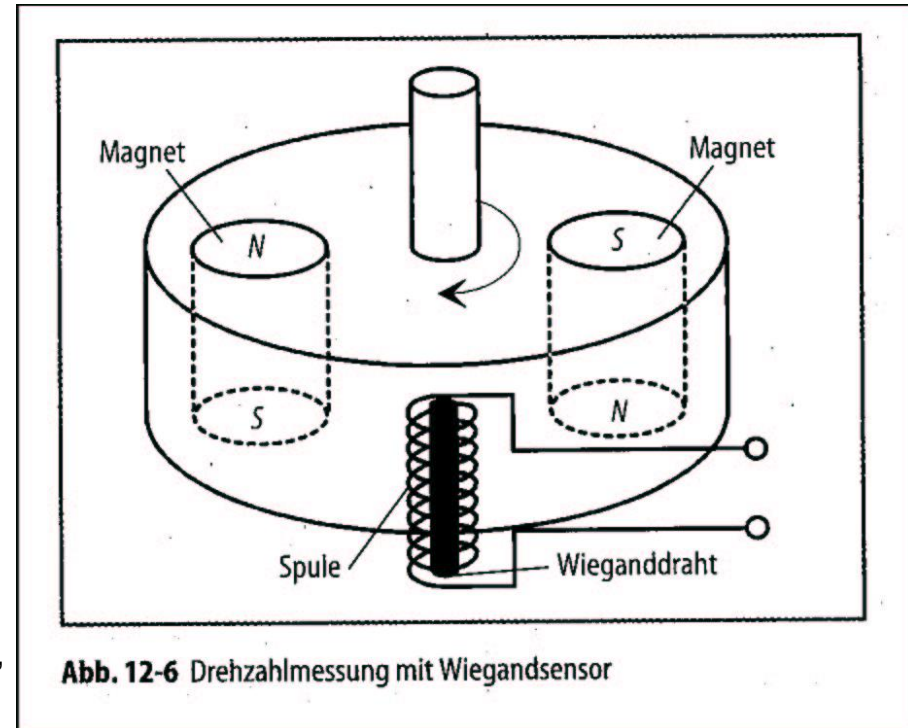
- weichmagnetischer Kern, hartmagnetische Schale
- ändert die Magnetisierungsrichtung seines Kernes bei Über- oder Unterschreiten einer magnetischen Schwellwertfeldstärke

Induziert einige Volt (einige 1000 Windungen)

Sehr robust (T, Schmutz)

Keine Hilfsenergie

Auch für sehr kleine  $n$



[Tränkler, Obermeier,  
Sensortechnik]

Abb. 12-6 Drehzahlmessung mit Wiegandsensor

# Mechanische und geometrische Größen

- Länge
- Winkel
- Position
- Dehnung
- Kraft
- Beschleunigung
- Schwingung
- Masse
- Drehmoment
- Drehzahl



# Messtechnik 2 – Übersicht

Grundlagen ✓

Geometrische und mechanische Größen ✓

Optische Größen  
Messen aus Bildern



Schwerpunktthema,  
die nächsten 3-4 VO Einheiten

Temperatur

Druck

Durchfluss, Viskosität, Dichte, Füllstand

Akustische Größen

Ionisierende Strahlung