

# Prozessmesstechnik und Sensorik

Vorlesung:  
Technische Druckmessung

# Prüfungsfragen

- Beschreiben Sie den Aufbau und die Wirkungsweise von industriellen Drucksensoren!
- Welche Anforderungen werden an Druck- und Temperatursensoren in industriellen Anwendungen gestellt.



# Druck als Prozessparameter

In technischen Prozessen ist der Druck ein wichtiger Prozessparameter.  
Er gibt zum Beispiel Auskunft über

- die Dichte von Gasen (Expansion, Kompression, Partialdrücke)
- die Energieumsetzung in Dampf (Dampferzeugung, Druckexkursion)
- Fortschritt von Entspannungsvorgängen (z.B. Druckentlastung)
- die Güte eines Vakuums (siehe auch Vakuummesstechnik)

Der Druck ist oft eine maßgebliche Größe für die Anlagen- und Prozesssicherheit

- Überwachung von Chemie- und Kernreaktoren
- Überwachung und Steuerung von Vakuumprozessen
- Überwachung und Steuerung von Prozessen im Unterdruck (z.B. Destillation)
- ...

Elektrische Drucksensoren kommen bei Durchflussmessung nach dem Wirkdruckprinzip zum Einsatz.



# Druck als Prozessparameter

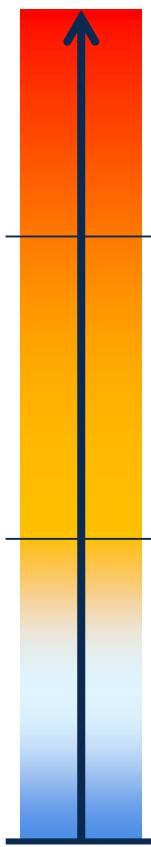
Absolutdruck-Skala

2 bar = 0.2 MPa

1 bar = 0.1 MPa

1 bar = 0.0 MPa

kann nur theoretisch erreicht werden



Überdruck

Normaldruck  
(Atmosphärendruck)

Unterdruck

Vakuum

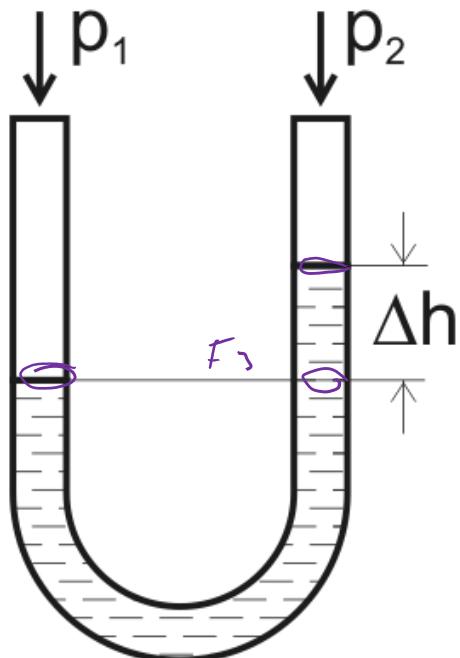
$$p = \frac{F}{A}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa}$$



# Klassisches U-Rohr-Manometer



$$F_1 = p_1 A$$

$$F_2 = p_2 A$$

$$F_3 = F_2 + A \Delta h \cdot \rho \cdot g$$

$$p_1 \cancel{A} = p_2 \cancel{A} + A \Delta h \rho \cdot g$$

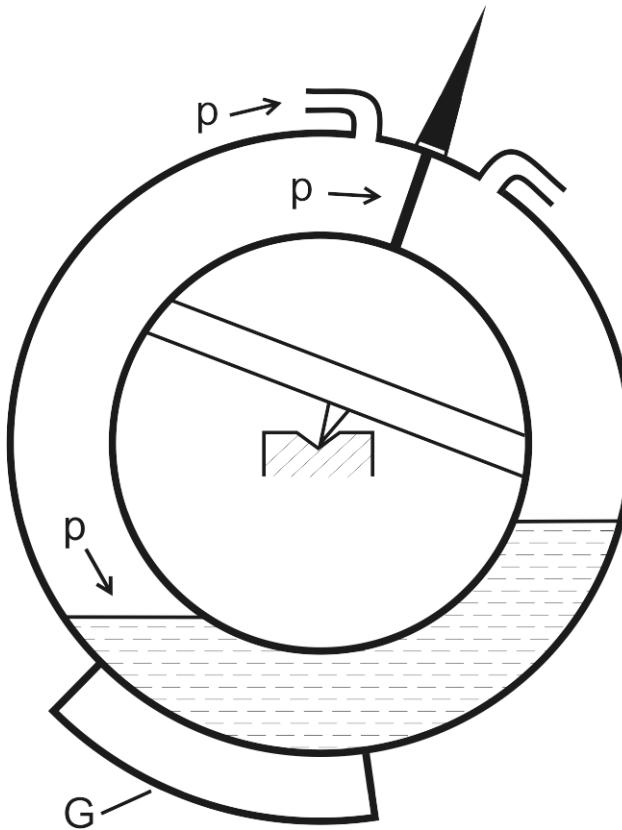
$$p_1 - p_2 = \Delta h \cdot \rho \cdot g$$

$$\Delta h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$

Flüssigkeit	Dichte (g/cm³) bei 20°C
Wasser	0.9982
Quecksilber	13.55



## Ringwaage



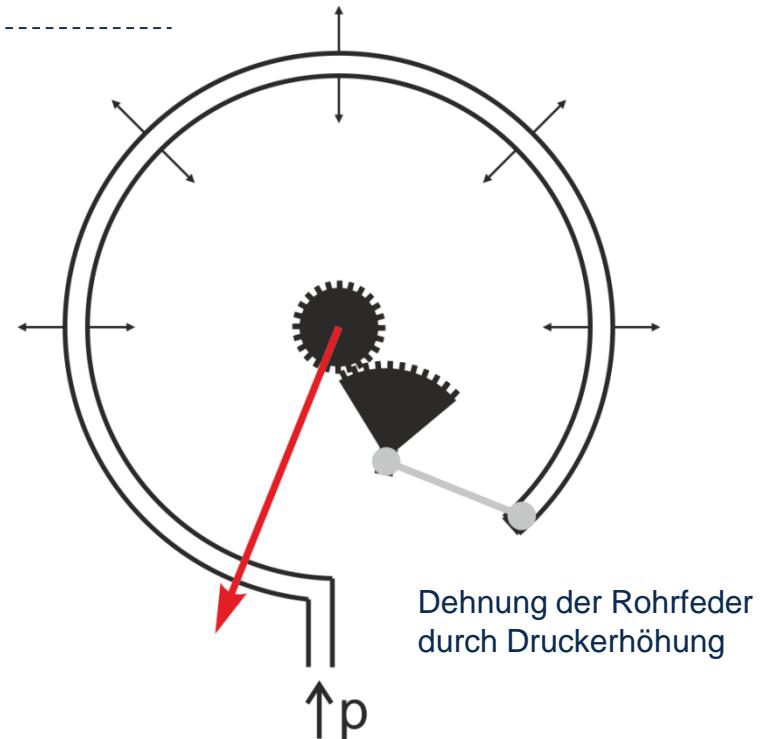
# Ringwaage um 1920

zur Differenzdruck-Durchflussmessung  
an einer Ammoniak-Anlage

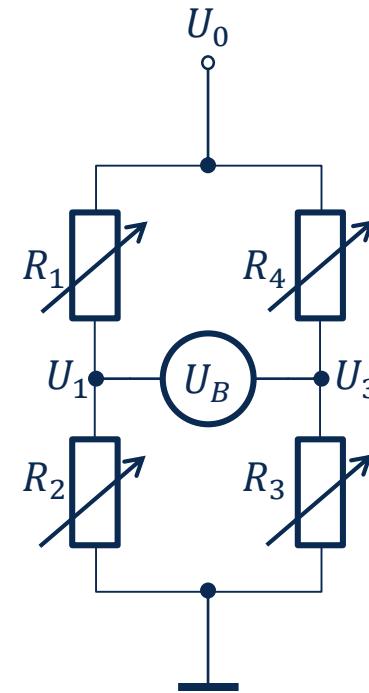
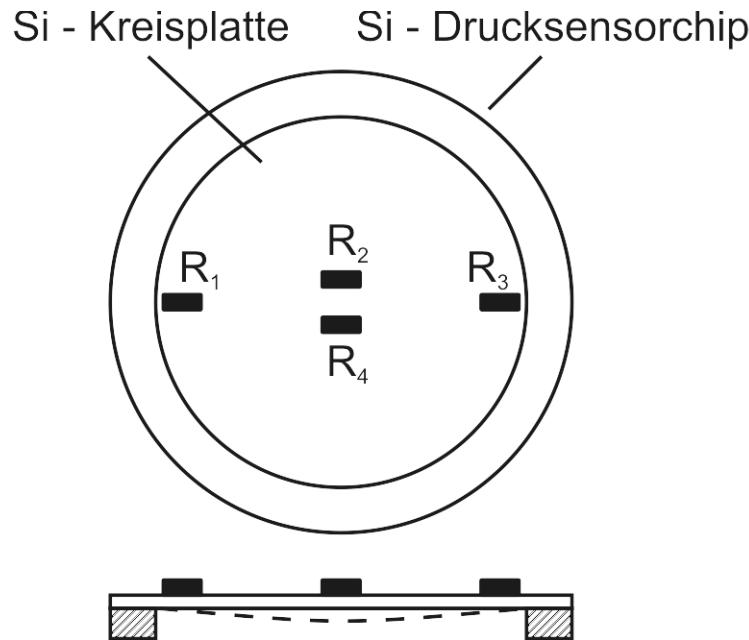
Deutsches Chemie-Museum Merseburg



# Rohrfeder-Manometer



# Piezoresistiver Drucksensor



Bei resistiven Drucksensoren gelangt der Messdruck auf einen Körper, der sich auf Grund des anliegenden Drucks verformt. Die durch die mechanische Messgröße hervorgerufene Verformung ruft eine Änderung des Spannungs- und Dehnungszustandes hervor. Durch elektrische Widerstände auf der Oberfläche des Verformungskörpers wird die Dehnung in eine Widerstandsänderung  $R_i$  umgewandelt. Diese Änderung lässt sich dann über eine Wheatstone-Brücke, gefolgt von Verstärkern, auswerten.



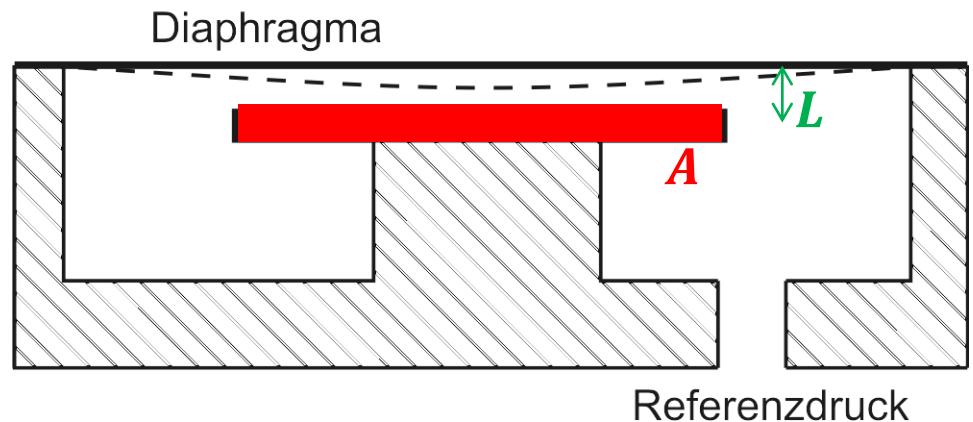
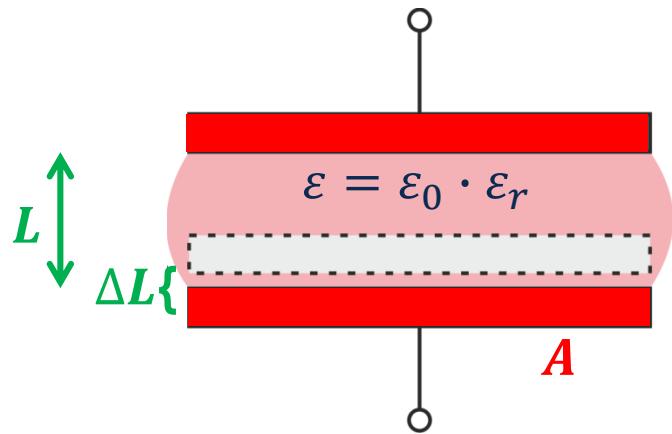
# Piezoresistiver vs. piezoelektrischer Drucksensor

Bei **piezoresistiven Drucksensoren** sind die Messwiderstände aus einem piezoresistivem Material (Silizium). Durch die Verformung ändert sich der elektrische Widerstand. Von diesem wird wegen der starken Temperaturabhängigkeit des Effekts mittels Wheatstone-Brücke die Widerstandsänderung (Verstimmung der abgeglichenen Brücke) erfasst.

Verformung piezoelektrischer Kristalle bewirkt eine Polarisationsspannung. Dieser Effekt wird beim **piezoelektrischen Wandler** ausgenutzt. Anstelle der Widerstandsänderung des druckbeaufschlagten Piezokristalls wird also die an seinen Kontaktflächen abgreifbare Piezospaltung gemessen. Ansonsten ist der Aufbau des Drucksensors analog zum piezoresistiven Sensor.



# Kapazitiver Drucksensor



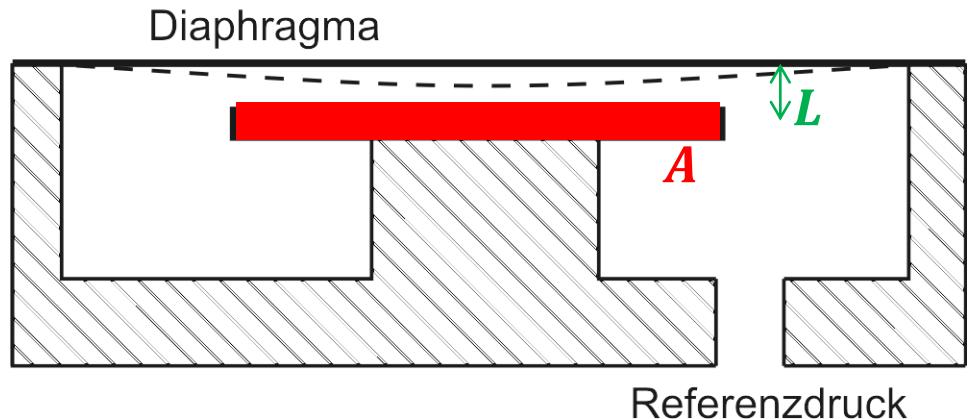
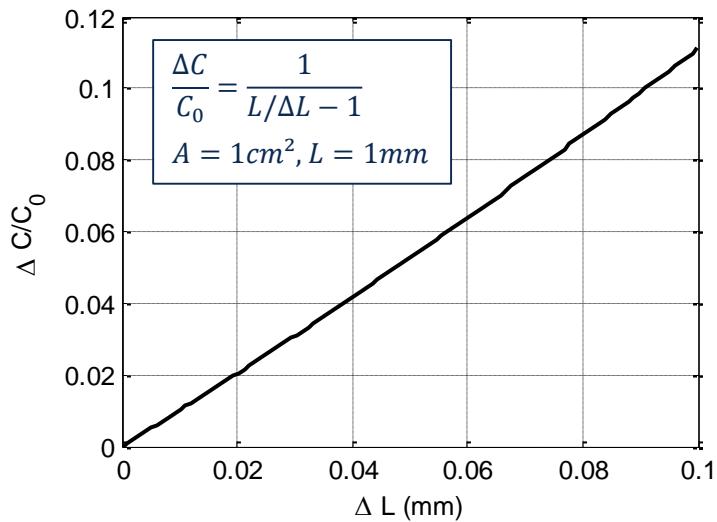
$$C = \epsilon \frac{A}{L}$$

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{1}{1 - L/\Delta L}$$

Die Auslenkung eines Verformungskörpers (Membranen, Platten) führt bei kapazitiven Sensoren zu einer Kapazitätsänderung eines Einfach- oder Differentialkondensators. Meist wird die Änderung der Kapazität durch eine Abstandsänderung der Kondensatorplatten herbeigeführt.



# Kapazitiver Drucksensor

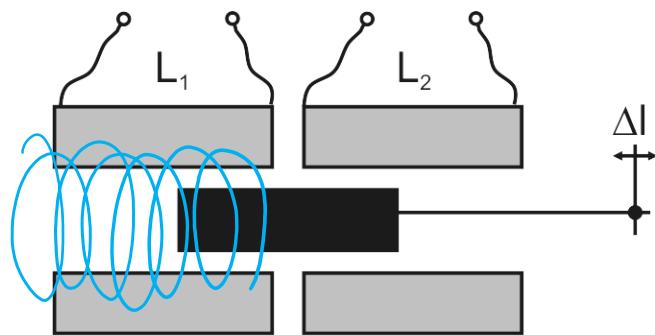


Die Auslenkung eines Verformungskörpers (Membranen, Platten) führt bei kapazitiven Sensoren zu einer Kapazitätsänderung eines Einfach- oder Differentialkondensators. Meist wird die Änderung der Kapazität durch eine Abstandsänderung der Kondensatorplatten herbeigeführt.



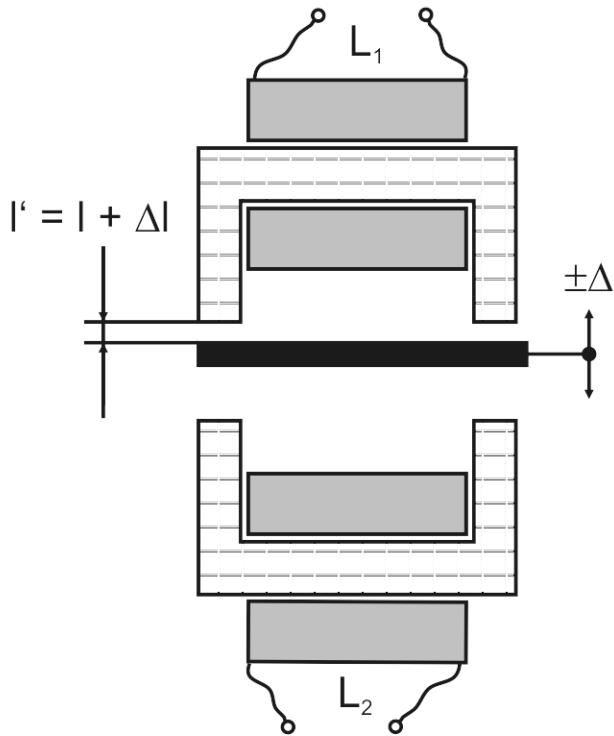
# Induktiver Drucksensor

Tauchankerprinzip



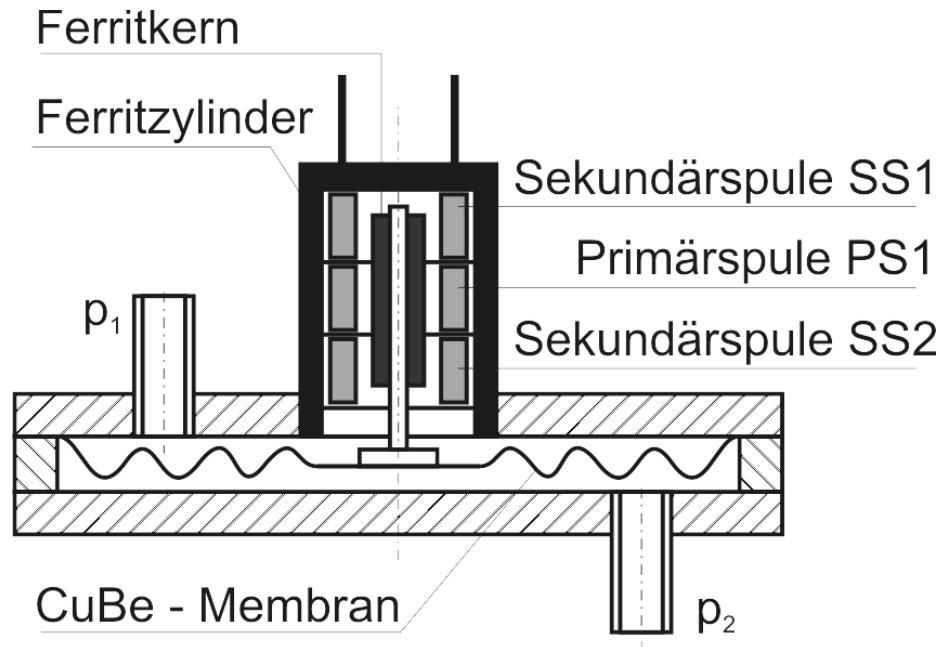
Bei induktiven Drucksensoren wird die Wegänderung des Verformungskörpers mit dem Quer- oder Tauchankerprinzip gemessen. Dabei wird die Induktivitätsänderung der Spulen ausgewertet und so ein Zusammenhang mit der Messgröße „Druck“ hergestellt.

Querankerprinzip



$$L = \frac{A_k}{l + \Delta l} w^2 \mu_0 \mu_r$$


# Induktiver Drucksensor



$$L = \frac{A_k}{l + \Delta l} w^2 \mu_0 \mu_r$$

Bei induktiven Drucksensoren wird die Wegänderung des Verformungskörpers mit dem Quer- oder Tauchankerprinzip gemessen. Dabei wird die Induktivitätsänderung der Spulen ausgewertet und so ein Zusammenhang mit der Messgröße „Druck“ hergestellt.



# Linearitäts- und Hysterese-Fehler von Drucksensoren

