



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Inhaltsverzeichnis:

3. Drucksensoren	3
3.1 Grundlagen	3
3.1.1 Allgemeines	3
3.1.2 Maßeinheiten	3
3.1.3 Überdruck und Unterdruck	4
3.1.4 Absolut-, Relativ- und Differenzdruck	6
3.2 Druckeinheiten	8
3.3 U-Rohrmanometer	10
3.4 Schrägrohrmanometer	11
3.5 Überdruckmessgeräte mit elastischem Messglied	12
3.6 Manometertypen	14
3.6.1 Rohrfedermanometer (Bourdonfeder)	14
3.6.1.1 Druckentlastung an Manometern	17
3.6.1.2 Ölgefüllte Manometer	18
3.6.3 Plattenfedermanometer	21
3.6.3.1 Beispiel für eine Absolutdruckmessung	22
3.6.3.2 Beispiel einer Differenzdruckmessung	24
3.6.4 Druckmittler Anwendung – Wirkungsweise – Bauformen	25
3.6.4.1 Einsatzmöglichkeiten	26
3.6.4.2 Beispiele	26
3.6.4.3 Bauformen	29
3.6.5 Messumformer mit vorgelagerter Messzelle (Tubus)	31
3.6.6 Messumformer in Flanschführung	31
3.7 Differenz-Druckmessumformer	32
3.7.1 Feststellung eines Prüflabors zu Absolutdruckmessumformern	33 33
3.8 Druckmessumformer	34
3.8.1 Differentialkondensator	35
3.8.1.1 Relativdruckmesszelle	36
3.8.1.2 Absolutdruckmesszelle	36



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.9 Sonderbauformer, alte Druckmessgeräte	39
3.9.1 Ringwaage (Fa. Rixen)	39
3.9.2 Tauchsichermesswerk	41
3.9.3 Tauchglockenmesswerk	42
3.9.4 Quecksilber-Schwimmermanometer (Fa. Siemens)	44
3.9.5 Barton-Messzelle (Fa. Hartmann & Braun)	45
3.10 Druck- (Kraft-) Messung mittels Dehnmessstreifen	48
3.10.1 Grundlagen Dehnmessstreifen	48
3.10.2 Aktive und passive Anbringung von DMS	51
3.10.3 Statische Fehler	51
3.10.4 Einflussgrößen	51
3.10.5 Anwendungsmöglichkeiten	56
3.10.6 Messschaltung	62
3.10.7 DMS-Materialien	62



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3. Drucksensoren

3.1 Grundlagen

3.1.1 Allgemeines

So wie die Temperatur ist auch der Druck eine Zustandsgröße. Sehr viele physikalische und chemische Vorgänge verlaufen druckabhängig. So ist z. B. die Siedetemperatur des Wassers und anderer Stoffe abhängig vom herrschenden Luftdruck.

In der Technik ist die Messung von Drücken von großer Bedeutung, sei es zur Überwachung von Produktionsabläufen, sei es aus Sicherheitsgründen für Behälter und empfindliche Geräte, denen kein hoher Druck zugemutet werden kann.

Begriffsbestimmung gemäß DIN 1314

Als Druck p bezeichnet man den Spannungszustand flüssiger und gasförmiger Körper. Der Druck wird als Kraft F definiert, die senkrecht und gleichmäßig auf eine ebene Fläche einwirkt.

$p = \frac{F}{A} \text{ [bar]}$	Normalkraft die auf die ebene Fläche wirkt Inhalt dieser Fläche
---------------------------------	--

3.1.2 Maßeinheiten

Die physikalische Atmosphäre ist wie folgt festgelegt:

Sie ist gleich einem Druck den eine Quecksilbersäule von 760 mm Höhe mit einer Quecksilberdichte von 13,5951 bei 0 °C und bei einer Erdbeschleunigung von 980,665 cm/sec² auf eine horizontale Fläche erzeugt.

In der Technik heute gebräuchliche Einheit nach dem Gesetz für Maße und Gewichte vorgeschrieben, ist das Bar.

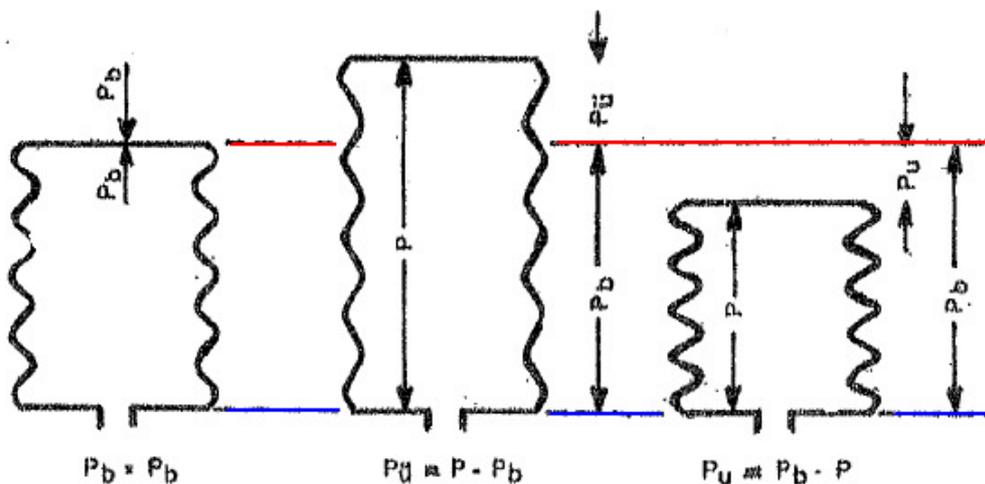


Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Da alle bisher gebräuchlichen Einheiten noch vorhanden sind, finden Sie in dieser und den folgenden Tabellen Umrechnungen.

1 bar	← →	760mmHg
1 bar	← →	10.000mmWs
1 bar	← →	10^5N/m^2
1 Pa	← →	1N/m^2

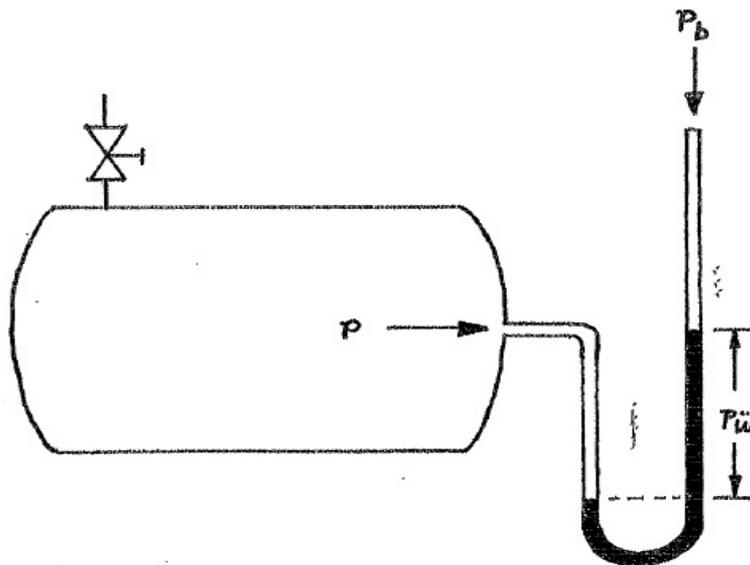
3.1.3 Überdruck und Unterdruck



Bei der Druckmessung wird in den meisten Fällen ein Druckunterschied bestimmt, der angibt, um welchen Betrag der im Innern eines Gefäßes herrschende Druck größer oder kleiner ist als der augenblickliche atmosphärische Druck. In der Praxis genügt es, den Über- oder Unterdruck (Differenzdruck) gegenüber dem Bezugsdruck zu kennen,



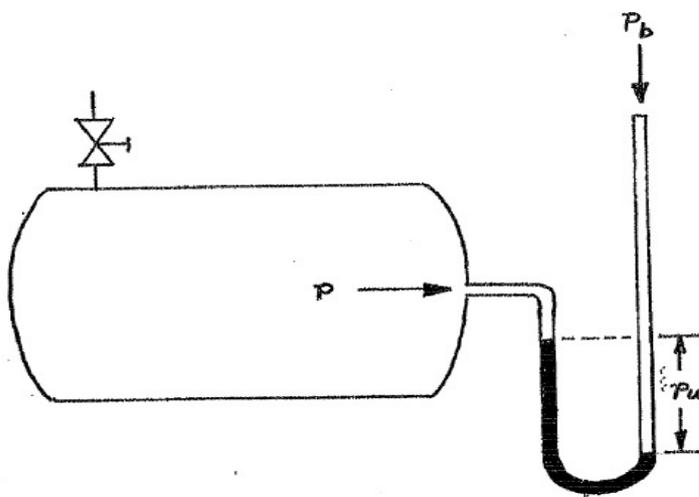
Für den Überdruck gilt die Begriffsbestimmung: Überdruck ($p_{\ddot{u}}$) = Druck (p) vermindert um den Bezugsdruck (p_b)



$$p_{\ddot{u}} = p - p_b$$

Für den Unterdruck gilt die Begriffsbestimmung:

Unterdruck (p_u) = Bezugsdruck (p_b) vermindert um den Druck (p)

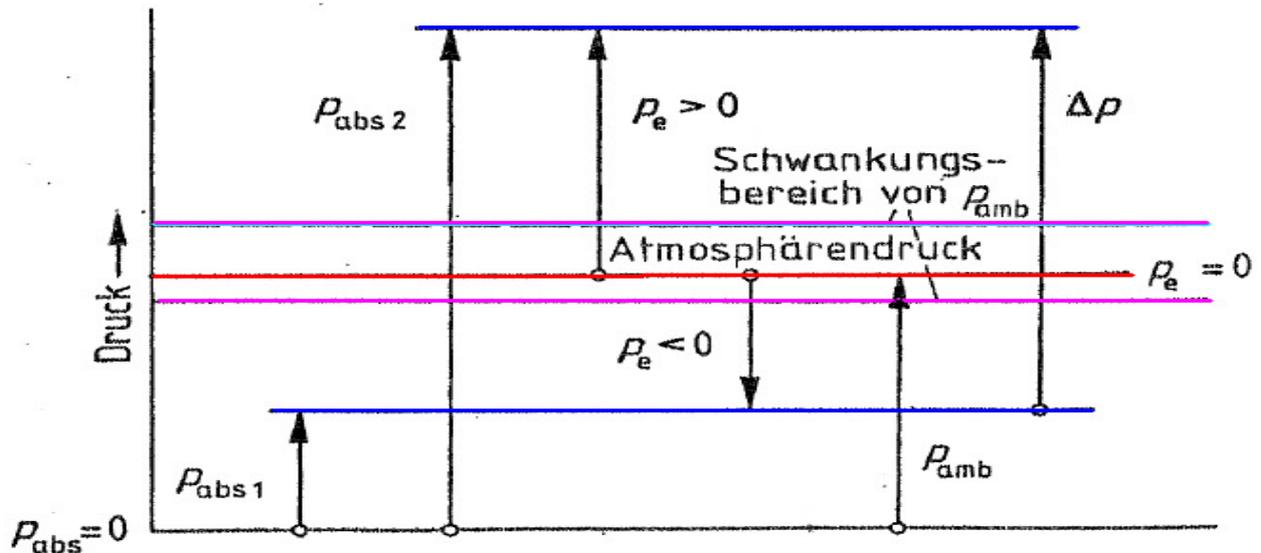


$$p_u = p_b - p$$



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.1.4 Absolut-, Relativ- und Differenzdruck



- P_{abs} = ABSOLUTDRUCK
- ΔP = DIFFERENZDRUCK ($\Delta P = P_{abs 2} - P_{abs 1}$)
- P_e = ÜBERDRUCK
- P_{amb} = ATMOSPHÄRENDRUCK
- $P_{abs} < P_{amb}$ = VAKUUM



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Wirkung des Druckes



12mm Edelstahlleitung mit einer Wandstärke vom 1 mm bei einem Druck von 1030 bar aufgeplatzt.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.2 Druckeinheiten

(Eine technische Information der Fa. WIKA)

SI-Einheiten - Technische Einheiten (metrisch)

		SI-Einheiten						Technische Einheiten						
		nach	bar	mbar	µbar	Pa	kPa	MPa	mmHg	mmWS	mWS	kp/mm ²	kp/cm ²	atm
		von												
SI-Einheiten	1 bar	1	10 ³	10 ⁶	10 ⁵	100	0,1		750,064	10,1972 · 10 ³	10,1972	10,1972 · 10 ⁻³	1,01972	0,986923
	1 mbar	10 ⁻³	1	10 ³	100	0,1	0,1 · 10 ⁻³		750,064 · 10 ⁻³	10,1972	10,1972 · 10 ⁻³	10,1972 · 10 ⁻⁶	1,01972 · 10 ⁻³	0,986923 · 10 ⁻³
	1 µbar	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	0,1	0,1 · 10 ⁻³	0,1 · 10 ⁻⁶		750,064 · 10 ⁻⁶	10,1972 · 10 ⁻³	10,1972 · 10 ⁻⁶	10,1972 · 10 ⁻⁹	1,01972 · 10 ⁻⁶	0,986923 · 10 ⁻⁶
	1 Pa	10 ⁻⁵	0,01	10	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶		7,50064 · 10 ⁻³	101,972 · 10 ⁻³	101,972 · 10 ⁻⁶	101,972 · 10 ⁻⁹	10,1972 · 10 ⁻⁶	9,86923 · 10 ⁻⁶
	1 kPa	0,01	10	10 · 10 ³	10 ³	1	10 ⁻³		7,50064	101,972	101,972 · 10 ⁻³	101,972 · 10 ⁻⁶	10,1972 · 10 ⁻³	0,986923 · 10 ⁻³
	1 MPa	10	10 · 10 ³	10 · 10 ⁶	10 ⁶	10 ³	1		7,50064 · 10 ³	101,972 · 10 ³	101,972	101,972 · 10 ⁻³	10,1972	9,86923
Technische Einheiten	1 mmHg	1,33322 · 10 ⁻³	1,33322	1,33322 · 10 ³	133,322	133,322 · 10 ⁻³	133,322 · 10 ⁻⁶		1	13,5951	13,5951 · 10 ⁻³	13,5951 · 10 ⁻⁶	1,35951 · 10 ⁻³	1,31579 · 10 ⁻³
	1 mmWS	98,0665 · 10 ⁻⁶	98,0665 · 10 ⁻³	98,0665	9,80665	9,80665 · 10 ⁻³	9,80665 · 10 ⁻⁶		73,5561 · 10 ⁻³	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,1 · 10 ⁻³	96,7841 · 10 ⁻⁶
	1 mWS	98,0665 · 10 ⁻³	98,0665	98,0665 · 10 ³	9,80665 · 10 ³	9,80665 · 10 ³	9,80665 · 10 ⁻³		73,5561	10 ³	1	10 ⁻³	0,1	96,7841 · 10 ⁻³
	1 kp/mm²	98,0665	98,0665 · 10 ³	98,0665 · 10 ⁶	9,80665 · 10 ⁶	9,80665 · 10 ³	9,80665 · 10 ⁻³		73,5561 · 10 ³	10 ⁶	10 ³	1	100	96,7841
	1 kp/cm²	0,980665	0,980665 · 10 ³	0,980665 · 10 ⁶	98,0665 · 10 ³	98,0665	98,0665 · 10 ⁻³		735,561	10 · 10 ³	10	0,01	1	0,967841
	1 atm	1,01325	1,01325 · 10 ³	1,01325 · 10 ⁶	101,325 · 10 ³	101,325	101,325 · 10 ⁻³		760	10,3323 · 10 ³	10,3323	10,3323 · 10 ⁻³	1,03323	1

- Weitere Beziehungen:
- 1 Pa = 1 N/m²
 - 1 hPa = 1 mbar
 - 1 mmHg = 1 Torr
 - 1 kp/cm² = 1 at (atü)

Anmerkungen

Die Tabelle bezieht sich auf DIN 1301 Teil 1 (2002) und Teil 3 (1979). Gemäß Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen (Einheitenverordnung - EinhV) vom 13. Dezember 1985 sind nur folgende Einheiten für Druckgrößen zulässig:

- Pascal (Pa)
- Bar (bar)
- Millimeter-Quecksilbersäule (mmHg), jedoch nur für Blutdruck und Druck anderer Körperflüssigkeiten der Medizin

Für diese Einheiten gelten gemäß EinhV die Definitionen und Beziehungen nach DIN 1301.

Im Teil 1 dieser Norm ist aufgeführt:

- Pascal als abgeleitete SI-Einheit mit besonderem Namen und mit besonderem Einheitenzeichen
- Bar als allgemein anwendbare Einheit außerhalb des SI
- Millimeter-Quecksilbersäule als Einheit außerhalb des SI mit beschränktem Anwendungsbereich

Teil 3 dieser Norm definiert u.a. Umrechnungsbeziehungen für folgende Einheiten:

- konventionelle Millimeter-Quecksilbersäule (mmHg)
- konventionelle Wassersäule (mWS)
- Torr (Torr)
- technische Atmosphäre (at)
- physikalische Atmosphäre (atm)



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

SI-Einheiten - Technische Einheiten (zoll-abhängig)

		SI-Einheiten						Technische Einheiten				
		nach	bar	mbar	µbar	Pa	kPa	MPa	psi	ft H ₂ O	in. H ₂ O	in. Hg
		von										
SI-Einheiten	1 bar		1	10 ³	10 ⁶	10 ⁵	100	0,1	14,50377	33,4553	401,463	29,52998
	1 mbar		10 ⁻³	1	10 ³	100	0,1	0,1	14,50377	33,4553	401,463	29,52998
								· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³
	1 µbar		10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	0,1	0,1	0,1	14,50377	33,4553	401,463	29,52998
								· 10 ⁻³	· 10 ⁻⁶	· 10 ⁻⁶	· 10 ⁻⁶	· 10 ⁻⁶
	1 Pa		10 ⁻⁵	0,01	10	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,1450377	0,334553	4,01463	0,2952998
								· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	
	1 kPa		0,01	10	10	10 ³	1	10 ⁻³	0,1450377	0,334553	4,01463	0,2952998
					· 10 ³							
	1 MPa		10	10	10	10 ⁶	10 ³	1	0,1450377	0,334553	4,01463	0,2952998
				· 10 ³	· 10 ⁶				· 10 ³	· 10 ³	· 10 ³	· 10 ³
Technische Einheiten	1 psi		68,94757	68,94757	68,94757	6,894757	6,894757	6,894757	1	2,30666	27,6799	2,036020
			· 10 ⁻³		· 10 ³	· 10 ³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³				
	1 ft H₂O		29,8907	29,8907	29,8907	2,98907	2,98907	2,98907	433,5275	1	12	0,8826709
			· 10 ⁻³		· 10 ³	· 10 ³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³			
	1 in. H₂O		2,49089	2,49089	2,49089	0,249089	0,249089	0,249089	36,12729	83,3333	1	73,55591
			· 10 ⁻³		· 10 ³	· 10 ³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³	· 10 ⁻³		· 10 ⁻³
	1 in. Hg		33,86389	33,86389	33,86389	3,386389	3,386389	3,386389	0,4911542	1,132925	13,59510	1
			· 10 ⁻³		· 10 ³	· 10 ³	· 10 ³	· 10 ⁻³				

- Weitere Beziehungen:
- 1 Pa = 1 N/m²
 - 1 psi = 1 lbf/in.²
 - 1 mmHg = 1 Torr
 - 1 kgf/cm² = 1 at

Anmerkungen

Die Tabelle bezieht sich auf ISO 31-1:1992 und ISO 31-3:1992.
Für Längengrößen definiert ISO 31-1 Umrechnungsbeziehungen für nicht mehr anzuwendende Einheiten:

- inch (in)
- foot (ft)

Für Druckgrößen definiert ISO 31-3 Umrechnungsbeziehungen für nicht mehr anzuwendende Einheiten:

- pound-force per square inch (lbf/in.²)
- conventional millimetre of water (mmH₂O)
- conventional millimetre of mercury (mmHg)
- Torr (Torr)
- technical atmosphere (at)
- standard atmosphere (atm)



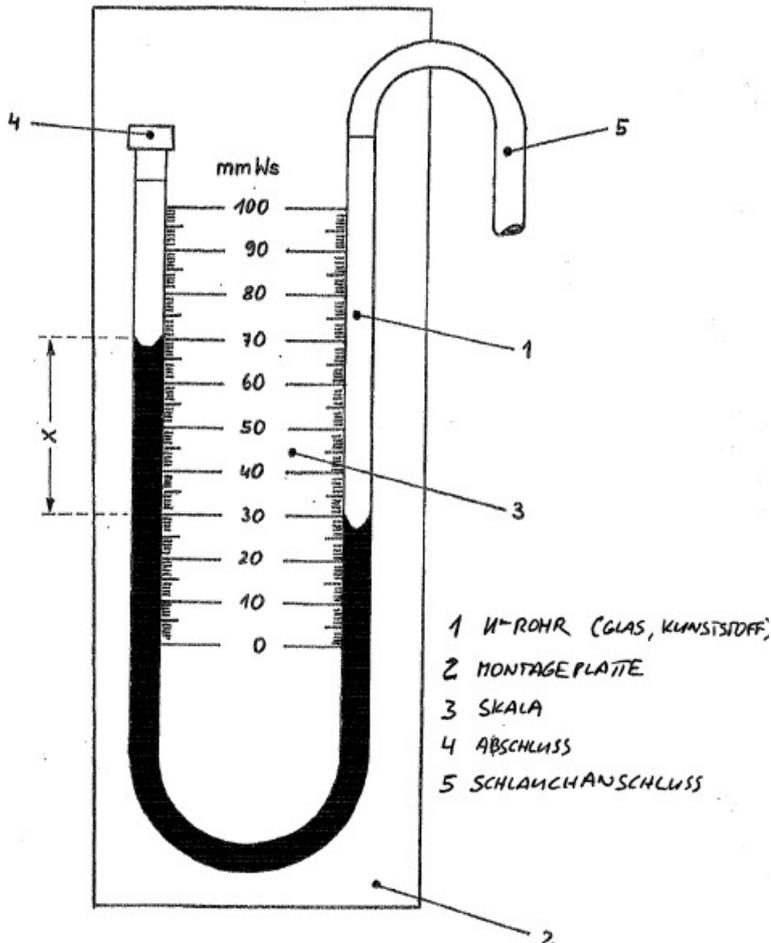
3.3 U-Rohrmanometer

$p = p_b + h \cdot \gamma$ mit Sperrflüssigkeit ist:

$$p + h \cdot \gamma_2 = p_b + h \cdot \gamma_1$$

$$\Delta p = h \cdot (\gamma_1 - \gamma_2)$$

$$\gamma = \sigma \cdot g$$



Die Abbildung zeigt ein U-Rohrmanometer-Vakuummeter.

Zur Füllung des U-Rohres findet je nach Druckbereich Quecksilber Acetylentetradibromid, gefärbtes Wasser und Alkohol Verwendung. Es besteht aus einem U-förmigen Rohr aus Glas (1), das auf einem Brett (2) befestigt ist, hinter dem Rohr ist eine Spiegelskala (3) mit mm-Teilung angeordnet. Auf dem oberen Ende des linken Schenkels des U-Rohres befindet sich ein Verschluss (4), der das Rohr vor Verunreinigungen schützt, gleichzeitig durch eine Öffnung das Rohrinnere mit der Atmosphäre verbindet, Das rechte Rohrende wird durch einen Schlauch (5) mit der Druck- oder Unterdruckquelle verbunden.



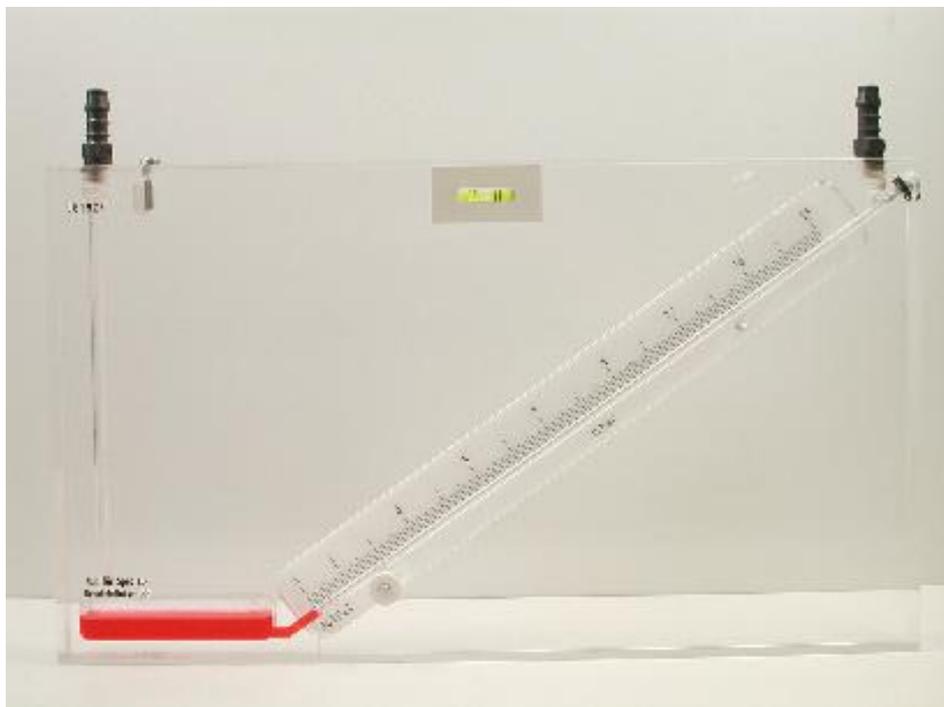
Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.4 Schrägrohrmanometer

Sind höhere Ablesegenauigkeiten erforderlich, werden Flüssigkeitsdruckmesser mit schrägem Rohr eingesetzt. Beim Schrägrohrmanometer ist ein Schenkel schwach steigend angeordnet. Eine kleine Höhendifferenz ändert daher die Länge der Flüssigkeitssäule stark.

$$\Delta p = g * l * \sin \alpha * \rho_M$$

Wichtig ist, dass die Neigung des Messschenkels bei Kalibrierung und Messung gleich ist. Um dieses zu erreichen, sind die Geräte mit Justierschrauben und Libellen ausgerüstet. Schrägrohrmanometer mit kapazitivem Abgriff der Lage der Flüssigkeitssäule sind auch als Messumformer lieferbar.





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.5 Überdruckmessgeräte mit elastischem Messglied



(Eine technische Information der Fa. WIKA)

In der technischen Druckmessung sind anzeigende Druckmessgeräte mit elastischem Messglied wegen ihrer Robustheit und einfachen Handhabung weit verbreitet. Sie enthalten Messglieder, die sich unter dem Einfluss eines Druckes elastisch verformen. Mechanische Druckmessgeräte werden mit Rohr-, Platten-, Kapselfeder- und Wellrohrfeder messgliedern gefertigt und nach diesen unterschieden.



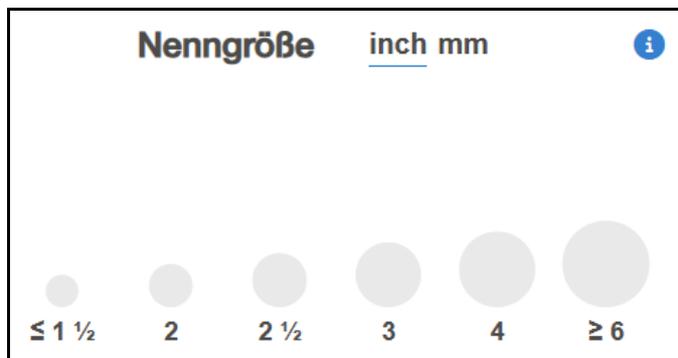
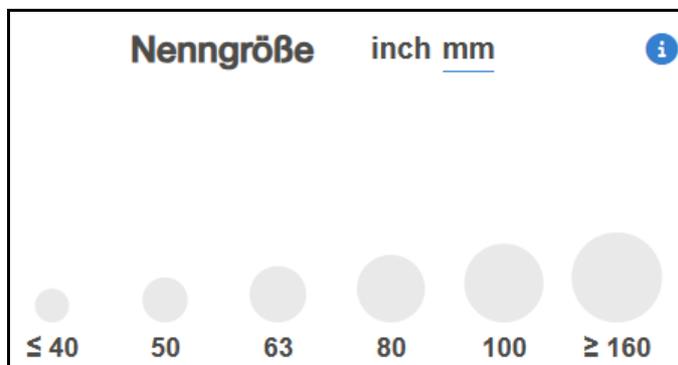
Die Messglieder bestehen aus Kupferlegierungen, legierten Stählen oder für spezielle Messaufgaben aus Sonderwerkstoffen. Drücke sind nur in Verbindung mit einem Bezugsdruck (Referenzdruck) messbar. Als Bezugsdruck dient normalerweise der Atmosphärendruck und das Druckmessgerät zeigt an, um wie viel höher oder niedriger der gemessene Druck in Bezug zum herrschenden atmosphärischen Druck ist (Überdruck-Messgerät).



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Der Druck wird in genormten Anzeigebereichen über 270 Winkelgrade auf dem Zifferblatt durch einen Zeiger angezeigt. Flüssigkeitsgefüllte Druckmessgeräte bieten aufgrund ihrer Dämpfung einen optimalen Schutz gegen Zerstörung, die durch hohe dynamische Druckbelastungen oder Vibrationen hervorgerufen werden kann.

Anzeigegrößen:



Präzisions-Digitalmanometer Typ CPG1500

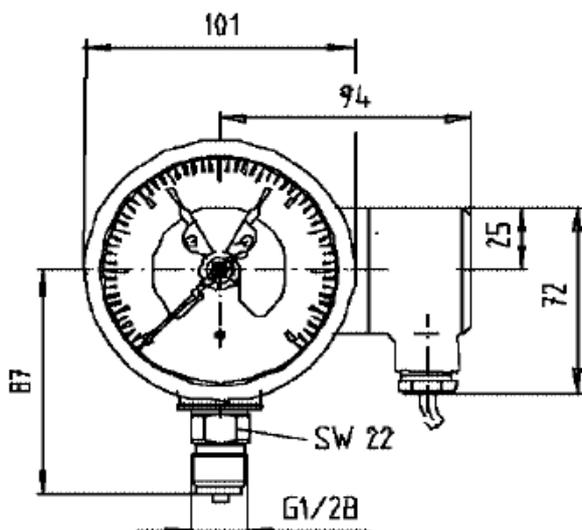
Bei Kombination mit Grenzsinalgebern können Schaltungen vorgenommen und bei Kombination mit Ferngebern können elektrische Ausgangssignale (z.B. 4 ... 20 mA) für industrielle Prozessautomatisierung genutzt werden.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6 Manometertypen

3.6.1 Rohrfedermanometer (Bourdonfeder)



Kontaktfedermanometer zur Grenzwert-Erfassung (z.B. Druck MIN/ Druck MAX)

Anschluss radial unten (rückseitiger exzentrischer Anschluss möglich)



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

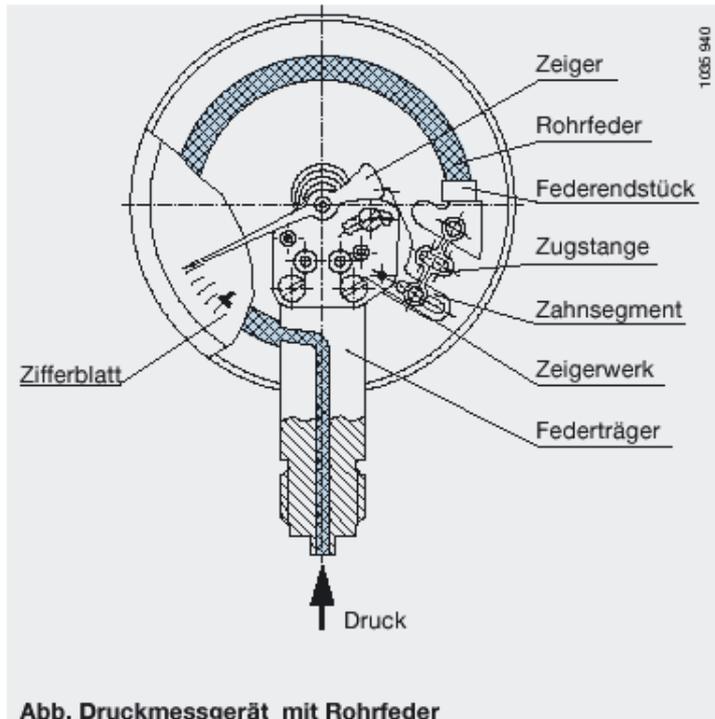
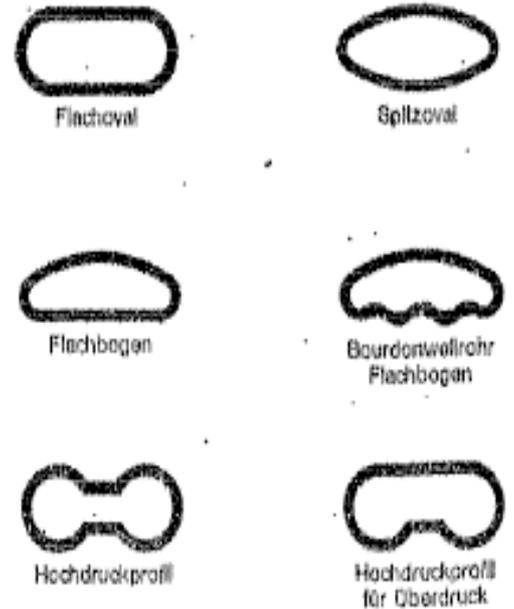
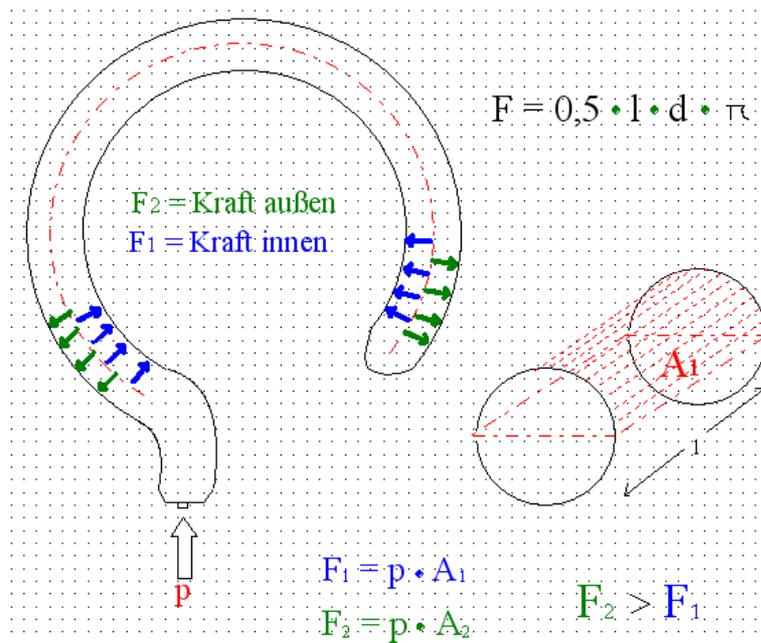


Abb. Druckmessgerät mit Rohrfeder



Federprofile

Über die Form der Federprofile erfolgt auch die Temperaturkompensation



Physikalisches Prinzip



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Rohrfedern sind kreisförmig gebogene Rohre von ovalem Querschnitt. Der Druck des Messstoffes wirkt auf die Innenseiten dieses Rohres, wodurch sich der Ovalquerschnitt der Kreisform annähert.

Durch die Krümmung des Federrohres entstehen Ringspannungen, welche die Rohrfeder aufbiegen. Das nicht eingespannte Federende führt eine Bewegung aus, die ein Maß für den Druck ist. Über ein Zeigerwerk wird diese Bewegung zur Anzeige gebracht. Die kreisförmigen, in einem Winkel von ca. 250 ° gebogene Federn werden für Drücke bis ca. 60 bar eingesetzt.

Für höhere Drücke finden Federn mit mehreren übereinanderliegenden Windungen von gleichem Wickeldurchmesser (Schraubenfeder) oder mit in einer Ebene liegenden spiralförmigen Windungen (Schneckenfeder) Verwendung.

Rohrfedern können nur begrenzt gegen Überlast geschützt werden. Um besonders schwierige Messaufgaben erfüllen zu können, kann dem Druckmessgerät ein Druckmittler als Trenn- bzw. Schutzvorlage vorgeschaltet werden.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen 0 ... 0,6 und 0 ... 7000 bar bei Anzeigegenauigkeiten (Genauigkeitsklassen) zwischen 0,1 und 4,0 %.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.1.1 Druckentlastung an Manometern

Die mechanisch schwächste Stelle eines konventionellen Manometers ist die Glasscheibe. Ohne diese Scheibe wäre ein Ablesen der Skala und damit des Messwertes nicht möglich.

Auf der Rückseite des Manometers kann sich ein schwarzer Gummistopfen befinden. Dieser Gummistopfen bildet die sogenannte Druckentlastung des Manometers, die sogenannte Sollbruchstelle. Diese Druckentlastung dient dem Personenschutz. Sollte während der Ablesung des Messwertes zu einem Rohrreißer kommen, entlastet sich der im Gehäuse plötzlich auftretende Prozessdruck nicht über die Glasscheibe, sondern nach hinten über die durch den wegfliegenden Gummistopfen freiwerdende Öffnung im Gehäuse.





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024



3.6.1.2 Ölgefüllte Manometer

Flüssigkeitsgefüllte Manometer finden ihren Einsatz in Anwendungen, die mit einer hohen, dynamischen Schock- und Vibrationsbelastung einhergehen. Die Füllflüssigkeit dämpft dabei die auftretenden Schwingungen und entlastet somit die mechanischen Bauteile des Manometers.

Einsatz von Füllflüssigkeit

Je nach Einsatzbedingungen werden am häufigsten Glycerin-Wasser-Gemische oder Silikonöle als Füllflüssigkeit verwendet. Glycerin-Wasser ist für die meisten Anwendungen und Umgebungstemperaturen geeignet.

Vor allem bei niedrigen Druckbereichen ist dessen Einsatz, aufgrund der geringen Dichte der Flüssigkeit und dem damit verbundenen, geringen Widerstand auf das Messglied, sinnvoll. Auf Silikonöle wird vor allem dann zurückgegriffen, wenn das Manometer besonders hohen ($> +60\text{ °C}$) oder besonders niedrigen ($< -20\text{ °C}$) Temperaturen ausgesetzt ist.

Das Manometergehäuse wird nicht komplett gefüllt, da sich je nach Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur das Füllmedium mit zusätzlichem Wasser anreichert und entsprechend ausdehnt. Um dieser Ausdehnung genug Raum zu bieten und eine Undichtigkeit des Gehäuses zu verhindern, ist das Gehäuse standardmäßig nur bis zu 80 % - 90 % gefüllt





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Nutzen von Füllflüssigkeit

Die Füllflüssigkeit dämpft auftretende Druckspitzen sowie Schocks bzw. Vibrationen und schützt damit die Mechanik des Druckmessgerätes. Somit wird der Materialermüdung und der Fehlfunktion entgegengewirkt.

Ein weiterer, entscheidender Faktor für den Anwender ist die Gewährleistung der Ablesbarkeit des anstehenden Drucks. Die Füllflüssigkeit bewirkt eine Ruhigstellung des Zeigers selbst bei starken Schwingungsbelastungen. Ohne Flüssigkeitsdämpfung würde der Zeiger nicht den tatsächlich anstehenden Druck anzeigen, sondern sich entsprechend der Vibrationen bzw. Pulsationen hin und her bewegen (sog. Zeigerflattern). Im Resonanzfall können dabei sogar Ausschlagwinkel von über 180° auftreten.

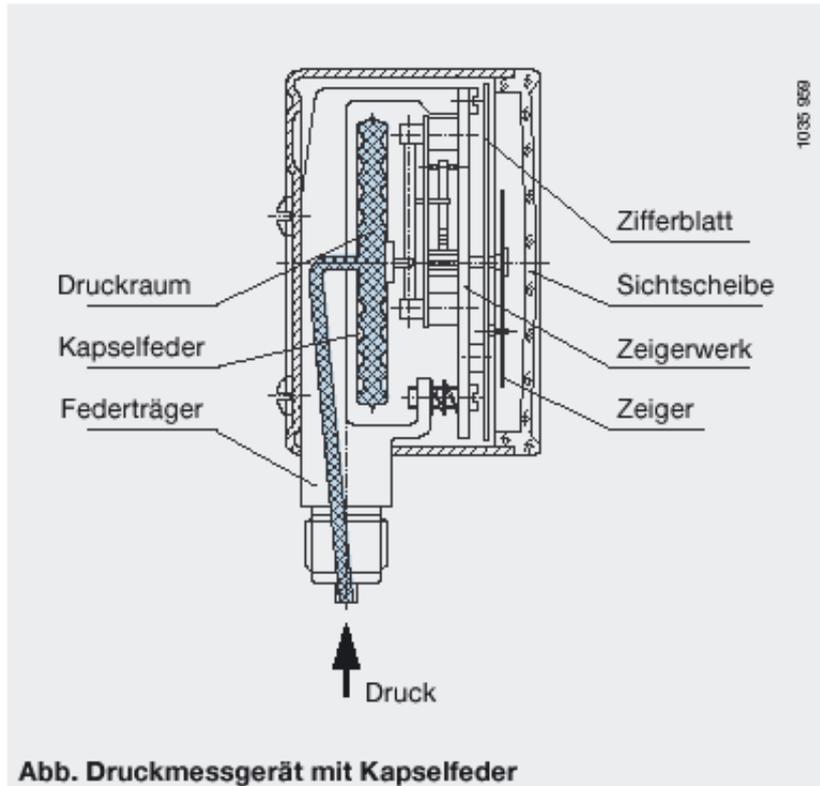
Nicht zuletzt kann bei niedrigen Umgebungstemperaturen die Sichtscheibe beschlagen und evtl. vereisen, was die Füllflüssigkeit zu verhindern vermag.





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.2 Kapselfedermanometer



Die Kapselfeder besteht aus zwei kreisförmigen, gewellten, am Rand druckdicht zusammengefügt Membranen.. Der Druck wirkt auf die Innenseite dieser Kapsel und die erzeugte Hubbewegung wird als Maß für den Druck über ein Zeigerwerk zur Anzeige gebracht.

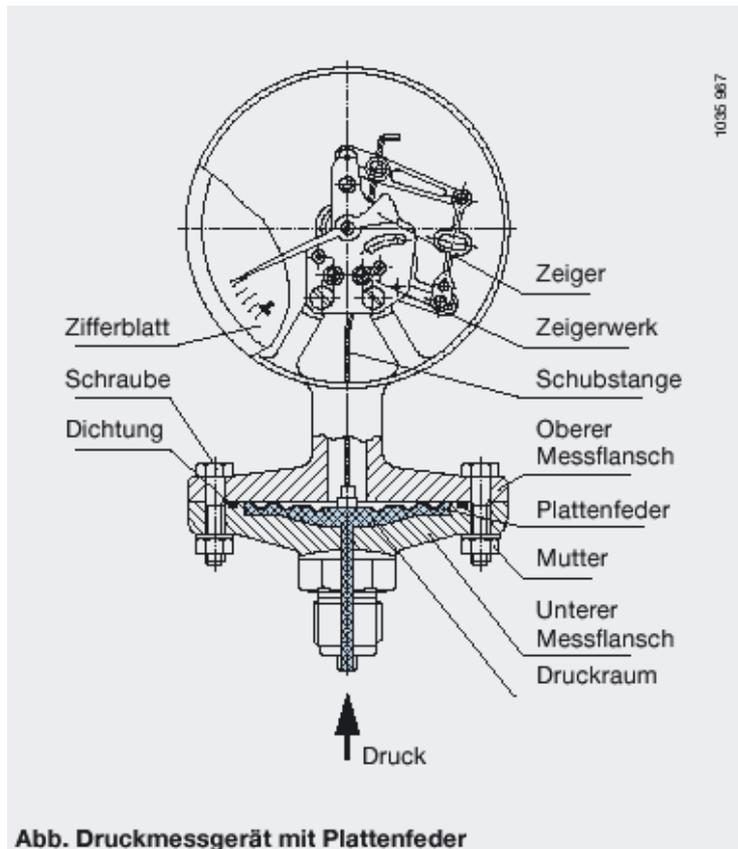
Druckmessgeräte mit Kapselfeder eignen sich besonders für gasförmige Messstoffe und relativ niedrige Drücke. Ein Überlastschutz ist in bestimmten Grenzen möglich. Werden mehrere Kapselfedern mechanisch in Reihe geschaltet (Kapselfeder-"Paket"), wird eine Erhöhung der Stellkraft erreicht.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen 0 ... 2,5 mbar und 0 ... 0,6 bar in den Genauigkeitsklassen 0,1 bis 2,5.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.3 Plattenfedermanometer



Plattenfedern sind kreisförmige, gewellte Membranen. Sie werden zwischen zwei Flansche entweder am Rand eingespannt oder verschweißt und einseitig vom Druck des Messstoffes beaufschlagt. Die dadurch hervorgerufene Durchbiegung wird als Maß für den Druck genutzt und über ein Zeigerwerk zur Anzeige gebracht.

Plattenfedern haben im Vergleich zu Rohrfedern eine relativ große Steifkraft und durch die ringförmige Einspannung sind sie unempfindlicher gegen Erschütterungen.

Die Plattenfeder kann durch Abfangen (Anlage der Plattenfeder am oberen Flansch) höher überlastet werden und durch Beschichtung mit Sondermaterial oder Vorlegen von Folien kann das Druckmessgerät auch vor extrem korrosiven Messstoffen geschützt werden.

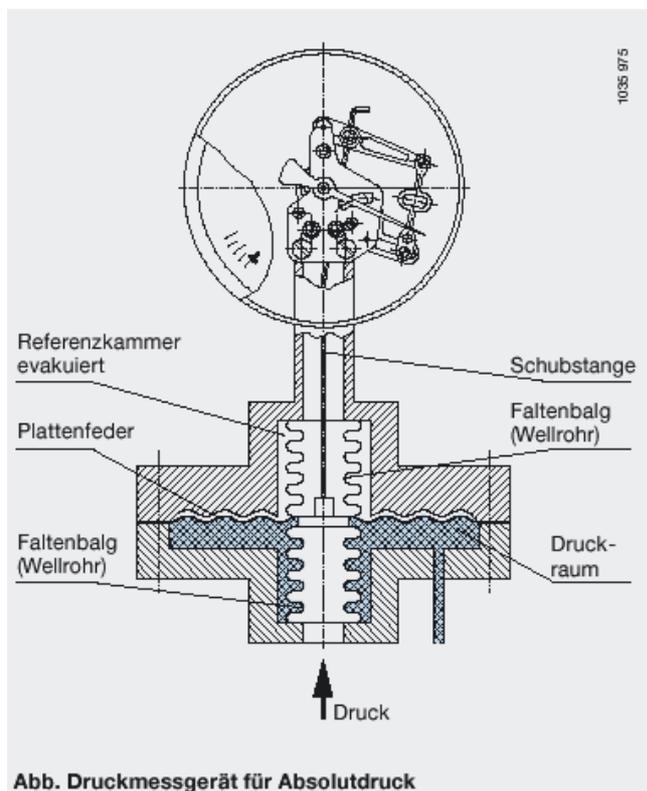


Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Zur Messung von hochviskosen, verunreinigten oder kristallisierenden Messstoffen können weite Anschlussbohrungen, offene Anschlussflansche sowie Spülmöglichkeiten realisiert werden.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen 0 ... 16 mbar und 0 ... 40 bar in den Genauigkeitsklassen 0,6 bis 2,5.

3.6.3.1 Beispiel für eine Absolutdruckmessung



Diese Geräte werden eingesetzt, wenn Drücke unabhängig von den natürlichen Schwankungen des atmosphärischen Druckes gemessen werden sollen. Prinzipiell können alle von den Überdruck-Messgeräten her bekannten Federformen und Messprinzipien verwendet werden.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Der Druck des zu messenden Stoffes wird gegen einen Referenzdruck gemessen, der gleich dem Absolutdruck Null ist. An der nicht vom Messstoff beaufschlagten Seite des Messgliedes herrscht dazu in einer Referenzkammer als Referenzdruck absolutes Vakuum.

Durch Abdichten der entsprechenden Messkammer oder des umgebenden Gehäuses wird die Funktion realisiert. Die Übertragung der Messgliedbewegung und die Anzeige des Druckes erfolgen wie bei den bereits beschriebenen Überdruck-Messgeräten.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen 0 ... 16 mbar und 0 ... 25 bar in den Genauigkeitsklassen 0,6 bis 2,5.

Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.3.2 Beispiel einer Differenzdruckmessung

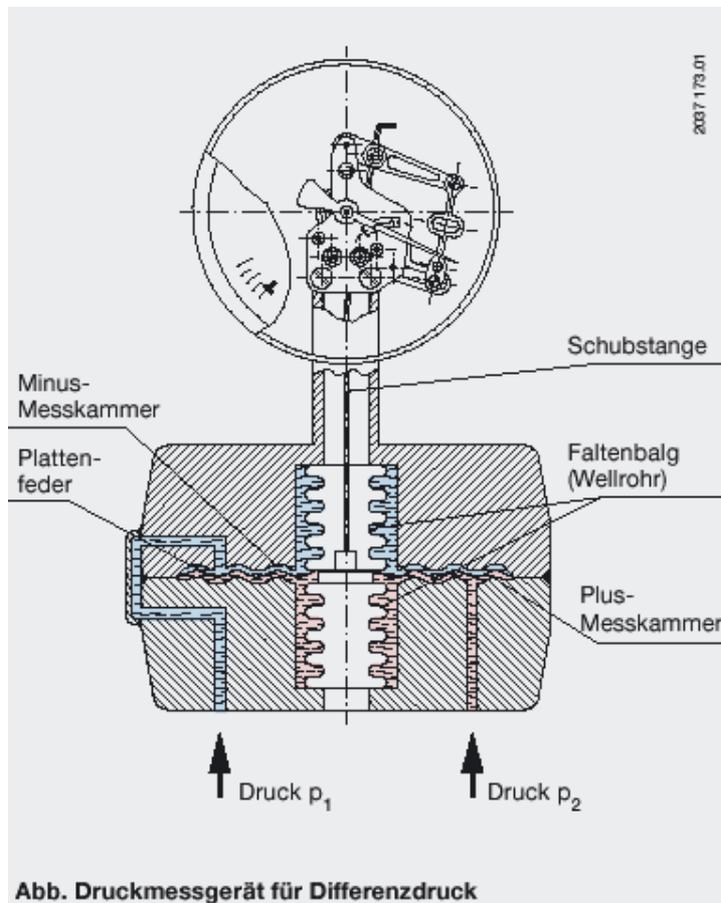


Abb. Druckmessgerät für Differenzdruck

Beim Differenzdruckmessgerät wird die Differenz zweier Drücke direkt erfasst und zur Anzeige gebracht. Auch hier können prinzipiell alle von den Überdruck-Messgeräten her bekannten Federformen und Messprinzipien verwendet werden.

Zwei abgeschlossene Messstoffräume sind durch das Messglied/ die Messglieder getrennt. Sind beide Betriebsdrücke gleich groß, wird das Messglied keine Bewegung ausführen und es erfolgt keine Druckanzeige. Erst wenn ein Druck erhöht oder niedriger ist, kommt es zur Differenzdruckanzeige.

Selbst bei hohem statischem Drücken werden kleine Differenzdrücke direkt messbar. Mit Plattenfeder-Messgliedern lässt sich eine sehr hohe Überlastbarkeit erreichen.

Der zulässige statische Druck und die angegebene + und - -seitige Überlastbarkeit sind zu beachten.

Die Übertragung der Messgliedbewegung und die Anzeige des Druckes erfolgen in den meisten Fällen wie bei den bereits beschriebenen Überdruck-Messgeräten.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen 0 ... 16 mbar und 0 ... 25 bar in den Genauigkeitsklassen 0,6 bis 2,5.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.4 Druckmittler Anwendung – Wirkungsweise – Bauformen

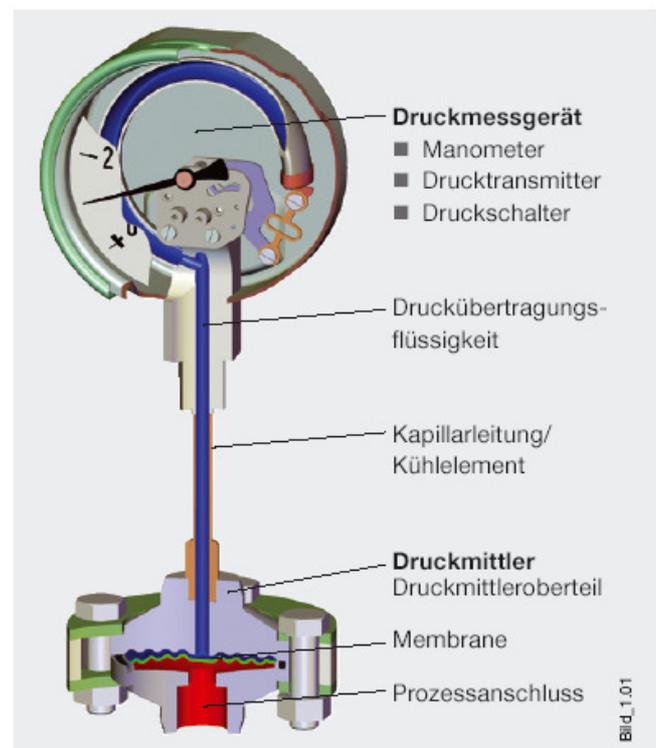
(Eine technische Information der Fa. WIKA)

Druckmittler werden zu Druckmessungen dann eingesetzt, wenn der Messstoff mit den Drucktragenden Teilen des Messgerätes nicht in Berührung kommen soll.

Ein Druckmittler hat zwei primäre Aufgaben:

1. Trennung des Messgerätes vom Messstoff
2. Übertragung des Druckes auf das Messgerät

Druckmessgerät mit Membran-Druckmittler



Wirkungsweise eines Druckmittlers

Die Wirkungsweise eines Druckmittlers ist (am Beispiel eines Membran-Druckmittlers) aus der Abbildung zu erkennen.

Prinzip

Der Raum zum Messstoff hin ist mit einer elastischen Membrane abgeschlossen. Der Innenraum zwischen dieser Membrane und dem Druckmessgerät ist vollständig mit einer Druckübertragungsflüssigkeit gefüllt. Wirkt nun vom Messstoff her der Druck, so wird dieser über die elastische Membrane auf die Flüssigkeit übertragen und weiter auf das Messelement, also auf das Druckmessgerät oder den Messumformer.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

In vielen Fällen ist zwischen Druckmittler und Druckmessgerät eine Kapillarleitung geschaltet, um z. B. Temperatureinwirkungen vom heißen Messstoff auf das Messgerät auszuschalten bzw. zu minimieren. Die Kapillarleitung beeinflusst die Ansprechzeit des Gesamtsystems. Druckmittler, Kapillarleitung und Messgerät bilden ein in sich geschlossenes System. Die versiegelten Füllschrauben am Druckmittler und am Messgerät dürfen deshalb keinesfalls gelöst werden, da nach Austritt von Füllflüssigkeit die Funktion des Systems beeinträchtigt wird! Die Membrane und der Anschlussflansch sind Teile des Systems, die mit dem Messstoff in Berührung kommen. Deshalb muss der Werkstoff, aus dem sie bestehen, hinsichtlich Temperatur- oder Korrosionsbeständigkeit entsprechende Anforderungen erfüllen.

Falls die Membrane undicht wird, kann die Füllflüssigkeit in den Messstoff eindringen. Bei Nahrungsmitteln muss diese für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen sein. Bei der Auswahl der Füllflüssigkeit sind daher die Faktoren Verträglichkeit sowie Temperatur- und Druckverhältnisse am Messstoff von entscheidender Bedeutung. Es steht eine Vielzahl von Flüssigkeiten zur Verfügung, mit denen ein Temperaturbereich von -90 °C bis $+400\text{ °C}$ abgedeckt werden kann (siehe Tabelle „Druckübertragungsflüssigkeiten“).

3.6.4.1 Einsatzmöglichkeiten

Für den Anwender bedeuten Druckmittler zunächst einmal Druckmessgeräte aller Art, auch für schwierigste Aufgabenstellungen, einsetzbar zu machen.

3.6.4.2 Beispiele

Der Messstoff ist korrosiv, und das Druckmeselement selbst, z. B. das Innere einer Rohrfeder, kann nicht ausreichend dagegen geschützt werden.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Der Messstoff ist hochviskos und faserig, dadurch führen Toträume und enge Bohrungen im Druckmessgerät (Druckkanäle, Rohrfeder) zu Messproblemen.

Der Messstoff neigt zur Kristallisation oder zur Polymerisation.

Beim Differenzdruckmessgerät wird die Differenz zweier Drücke direkt erfasst und zur Anzeige gebracht. Auch hier können prinzipiell alle von den Überdruck-Messgeräten her bekannten Federformen und Messprinzipien verwendet werden. Zwei abgeschlossene Messstoffräume sind durch das Messglied/ die Messglieder getrennt. Sind beide Betriebsdrücke gleich groß, wird das Messglied keine Bewegung ausführen und es erfolgt keine Druckanzeige. Erst wenn ein Druck erhöht oder niedriger ist, kommt es zur Differenzdruckanzeige.

Das Medium hat eine sehr hohe Temperatur. Dadurch erwärmt sich das Druckmessgerät stark. Die Erwärmung führt zu einem großen Temperaturfehler bei der Druckmessung (d. h. bei der Anzeige des Messdruckes am Messgerät). Es kann aber auch die Obergrenze für die thermische Belastung der Messgerätebauteile überschritten werden.

Die Druckmessstelle liegt ungünstig. Aus Platzgründen kann das Druckmessgerät entweder nicht montiert werden oder nicht bzw. nur schlecht abgelesen werden. Durch Einbau eines Druckmittlers und der Verwendung einer längeren Kapillarleitung kann das Druckmessgerät dann an einem Ort installiert werden, wo es leicht eingesehen werden kann.

Bei der Herstellung des Prozessproduktes und in der Produktionsanlage sind Hygienevorschriften zu beachten. Aus diesen Gründen müssen Toträume im Messgerät und in den Fittings vermieden werden.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Der Messstoff ist giftig oder umweltschädlich. Er darf durch Undichtigkeiten nicht in die Atmosphäre oder in die Umgebung gelangen. Aus Gründen der Sicherheit und des Umweltschutzes müssen deshalb geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Es bedeutet außerdem, von den langjährigen Erfahrungen des Herstellers profitieren zu können, d. h. Technologievorsprung für die eigenen Aufgabenstellungen und deren Problemlösungen zu gewinnen.

Nicht zuletzt bedeutet der Einsatz von Druckmittlern, die Leistungsfähigkeit der Anlagen und Prozesse zu steigern:

- durch längere Lebensdauer der Messanordnung
- durch geringeren Montageaufwand
- durch Wegfall von Wartungsarbeiten



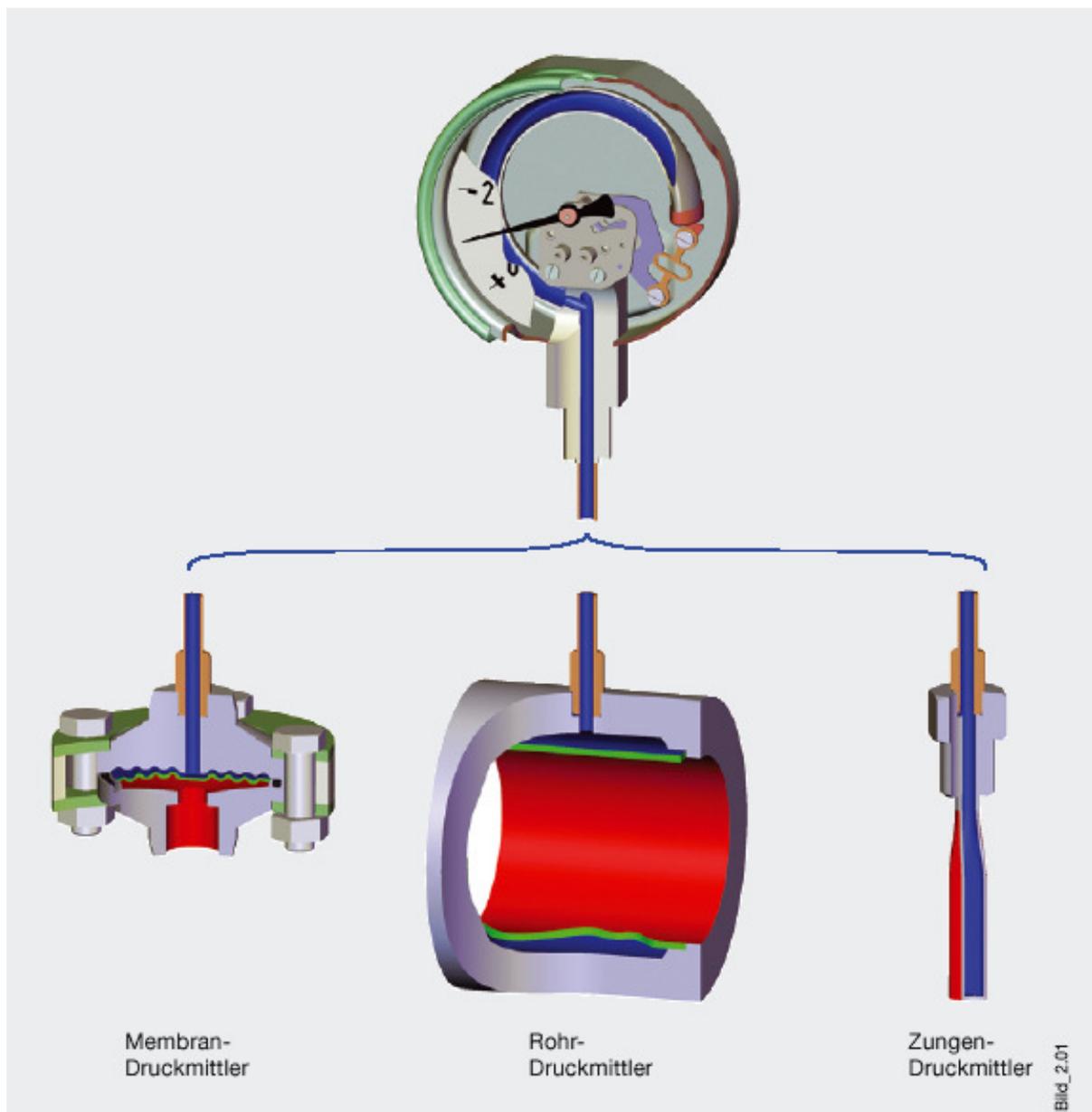


Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.4.3 Bauformen

Da die Einsatzfülle für Druckmittler sehr vielfältig ist, kann sie auch nicht nur mit einem Typ abgedeckt werden. Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Bauformen als besonders vorteilhaft für bestimmte Anwendungsfälle erwiesen.

So gibt es heute drei Grundarten:





Rheinische Hochschule Köln

University of Applied Sciences

Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Häufig eingesetzte Druckübertragungsflüssigkeiten für Druckmittler (weitere auf Anfrage)

Name	Kenn- nummer	Zulässige Messstofftemperatur		Dichte bei		Viskosität bei		Bemerkungen
		$p \geq 1000 \text{ mbar}$	$p < 1000 \text{ mbar}^{1)}$	Temperatur		Temperatur		
	KN	abs	abs	[g/cm ³]	[°C]	[m ² /s·10 ⁻⁶]	[°C]	
Silikonöl	KN 2	-20 ... +200 °C	-	0,96	+25	50	+25	Standard
Silikonöl	KN 2.2	-40 ... +300 °C	-40 ... +150 °C	0,96	+25	55	+20	
Silikonöl	KN 17	-90 ... +180 °C	-90 ... +80 °C	0,914	+20	4	+20	
Hochtemperatur-Öl	KN 3.1	-20 ²⁾ ... +300 °C	-10 ... +100 °C	1,07	+20	39	+20	
Hochtemperatur-Öl	KN 3.2	-20 ²⁾ ... +400 °C	-10 ... +200 °C	1,07	+20	39	+20	
Halocarbon	KN 21	-40 ... +175 °C (max. 160 bar)	-40 ... +80 °C	1,968	+20	14	+20	für Sauerstoff und Chlor, BAM ⁴⁾ geprüft
Glyzerin	KN 7	+17 ³⁾ ... +230 °C	-	1,26	+20	1110	+20	lebensmitteltauglich
Neobee® M-20	KN 59	-20 ... +200 °C	-20 ... +160 °C	0,92	+20	10,1	+25	lebensmitteltauglich
Medizinisches Weißöl	KN 92	-10 ... +260 °C	-10 ... +160 °C	0,85	+20	23	+40	lebensmitteltauglich

- 1) Vakuumservice notwendig
 2) Bei Kapillarleitungsanbau ab -10 °C
 3) Bei Kapillarleitungsanbau ab 0 °C
 4) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Für Druckmittler am häufigsten eingesetzte Werkstoffe (messstoffberührte Bauteile)

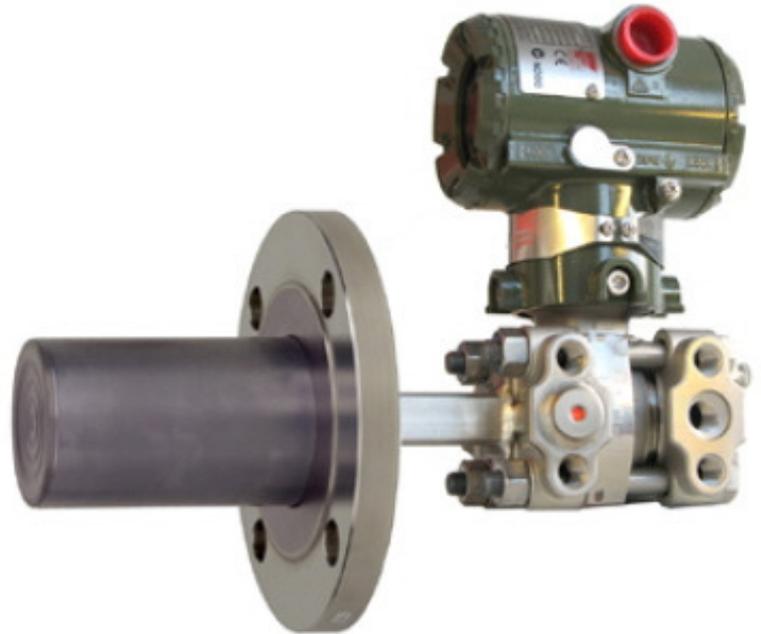
Werkstoff	Kurzbezeichnung	Werkstoff	Kurzbezeichnung
CrNi-Stahl	W.-Nr. 316L, 1.4571, 1.4404, 1.4435, 1.4541, 1.4542, 1.4539	Nickel	W.-Nr. 2.4066 / 2.4068
Duplex 2205	W.-Nr. 1.4462	Platin	Pt
Hastelloy B2	W.-Nr. 2.4617	Tantal	Ta
Hastelloy C4	W.-Nr. 2.4610	Titan	W.-Nr. 3.7035
Hastelloy C22	W.-Nr. 2.4602	Zirkonium	Zr
Hastelloy C276	W.-Nr. 2.4819	Keramik	wikaramic®
Incoloy alloy 825	W.-Nr. 2.4858	Polytetrafluoräthylen	PTFE
Inconel alloy 600	W.-Nr. 2.4816	Perfluoralkoxy	PFA
Monel alloy 400	W.-Nr. 2.4360	Copolymer von Ethen und Chlortrifluorethylen	ECTFE (Halar®)



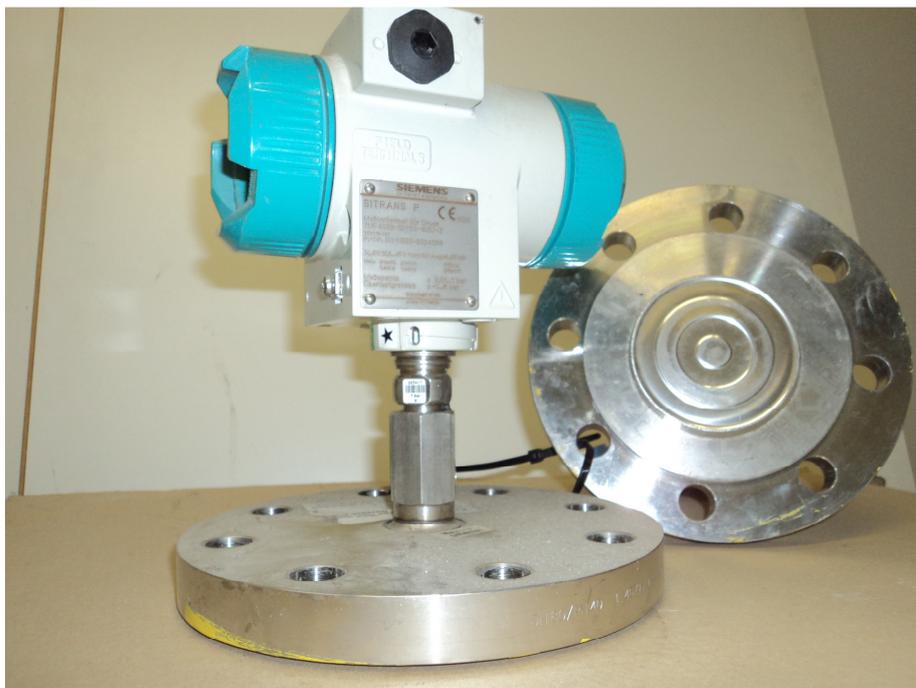
Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.6.5 Messumformer mit vorgelagerter Messzelle (Tubus)

Wenn beispielweise dicke Rohr- oder Behälterwänden vorhanden sind, bietet sich die Verwendung eines Messumformers mit Tubus an.



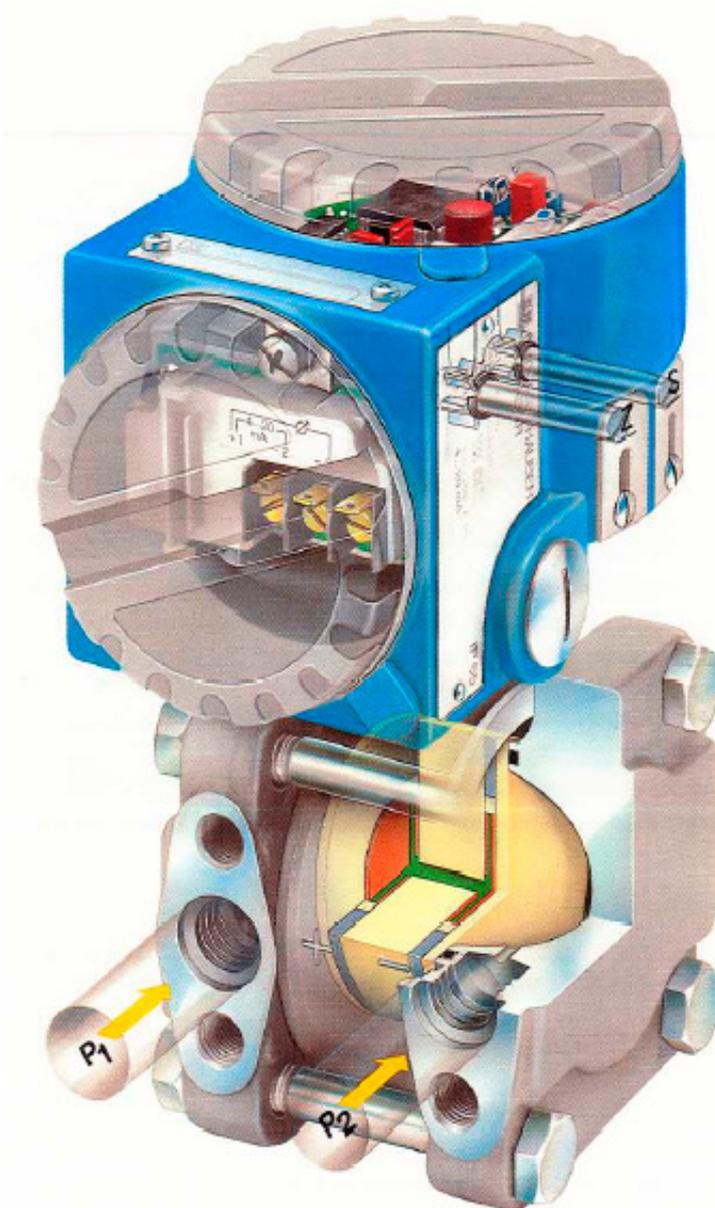
3.6.6 Messumformer in Flanschausführung



Zum Anbau an einen Stutzen, oder als Bodendruckmessung (Niveau) an einem Behälter.



3.7 Differenz-Druckmessumformer



Funktion der kapazitiv-keramischen Meßzelle

Die Keramikmeßzelle besteht aus dem Keramikkörper und den beiden Keramikmembranen für den Druck p_1 und p_2 — siehe Abbildung unten. Die Druckmittlerflüssigkeit verbindet beide Membranen. Eine Änderung des Differenzdrucks bewirkt eine Auslenkung beider Membranen, die direkt kapazitiv gemessen wird. Die Differenz von Kapazität C_1 und Kapazität C_2 entspricht dem anstehenden Differenzdruck. Die Meßbereiche reichen von 0...10 mbar bis 0...3000 mbar Differenzdruck.

Funktion der Selbstüberwachung

Die Summe von Kapazität C_1 und C_2 entspricht durch die temperaturproportionale Ausdehnung des Ölolumens auch der Prozeßtemperatur. Eine im Sensor integrierte Temperaturmessung liefert den zweiten Wert. Der Mikroprozessor vergleicht ständig beide Werte — bei einer Abweichung gibt der Deltabar Alarm.

Robust und zuverlässig

Die überzeugenden Vorteile der kapazitiv-keramischen Meßzelle des Deltabars:

- Das kapazitive Meßprinzip ist besonders bewährt und zuverlässig
- Der Werkstoff Keramik ist extrem widerstandsfähig gegen abrasive und aggressive Medien
- Die bis zu 1,6 mm dicken Keramikmembranen sind robust und unempfindlich gegen Druckstöße



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Messzelle eines Differenzdruckmessumformers

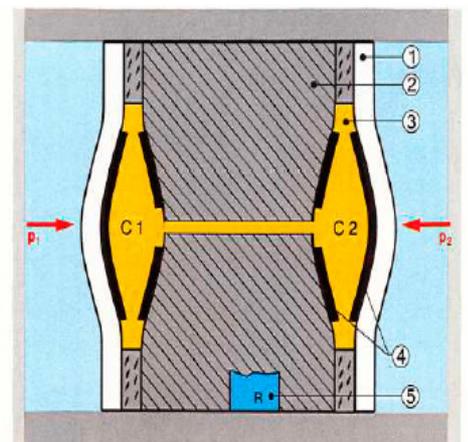


3.7.1 Feststellung eines Prüflabors zu Absolutdruckmessumformern

Bei Messumformern, die im niedrigen Absolutdruckbereichen betrieben werden, sind Nullpunktabweichungen festgestellt worden.

Dies wird mit der Überlast bei Auslieferung erklärt. Ein Messumformer mit einer Messzelle von 0–200 mbar abs wird bei Auslieferung permanent bei Atmosphärendruck 5-fach überlastet. In diesem Fall sollten Messumformer für Absolutdruck nach dem Differenzdruckprinzip zum Einsatz kommen, da bei diesem Prinzip die Messmembranen gegen Überlast mechanisch geschützt sind.

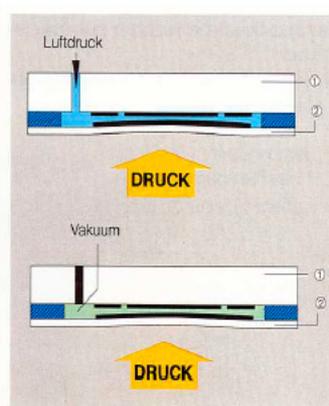
Die kapazitiv-keramische Meßzelle:
① Keramikmembran
② Keramikkörper
③ Druckmittlerflüssigkeit
④ Elektroden
⑤ Integrierter Temperaturfühler





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.8 Druckmessumformer

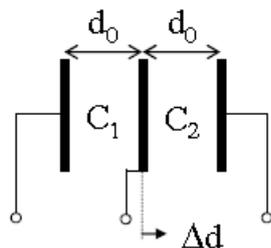




Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.8.1 Differentialkondensator

Durch die Verwendung eines Differentialkondensators, ändern sich mit einer Wegänderung, zwei Kapazitäten. Er kann in einer Halbbrückenschaltung betrieben werden.



$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d_0}$$

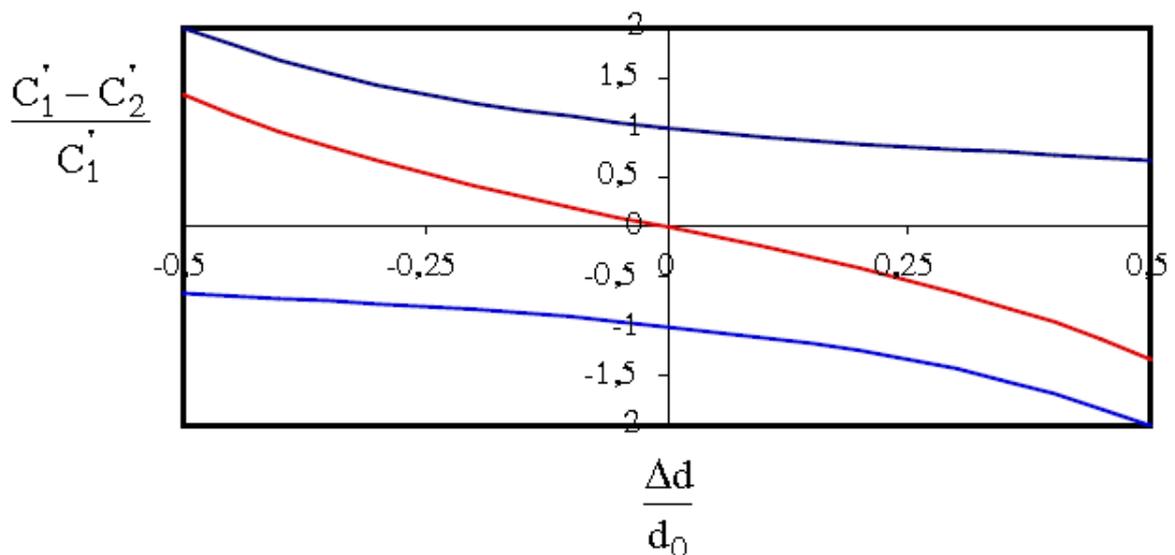
$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d_0}$$

Verschiebung um Δd :

$$C_1' = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d_0 + \Delta d}$$

$$C_2' = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d_0 - \Delta d}$$

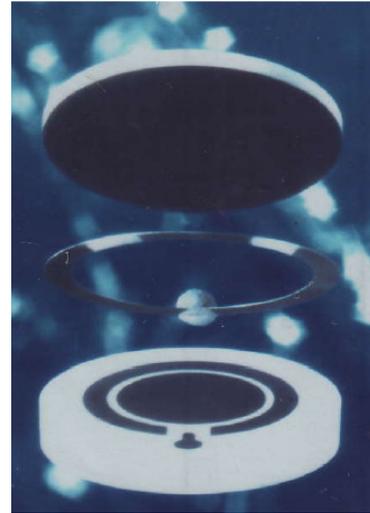
$$\Rightarrow C_2' - C_1' = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A \cdot \left(\frac{1}{d_0 - \Delta d} - \frac{1}{d_0 + \Delta d} \right) = -2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A \cdot \frac{\Delta d}{d_0^2 - (\Delta d)^2}$$



\Rightarrow linearer Verlauf in Umgebung von $\Delta d = 0$



Cerabar S der Fa. Endress+ Hauser, Aufbau des keramischen Messzelle



3.8.1.1 Relativdruckmesszelle



3.8.1.2 Absolutdruckmesszelle

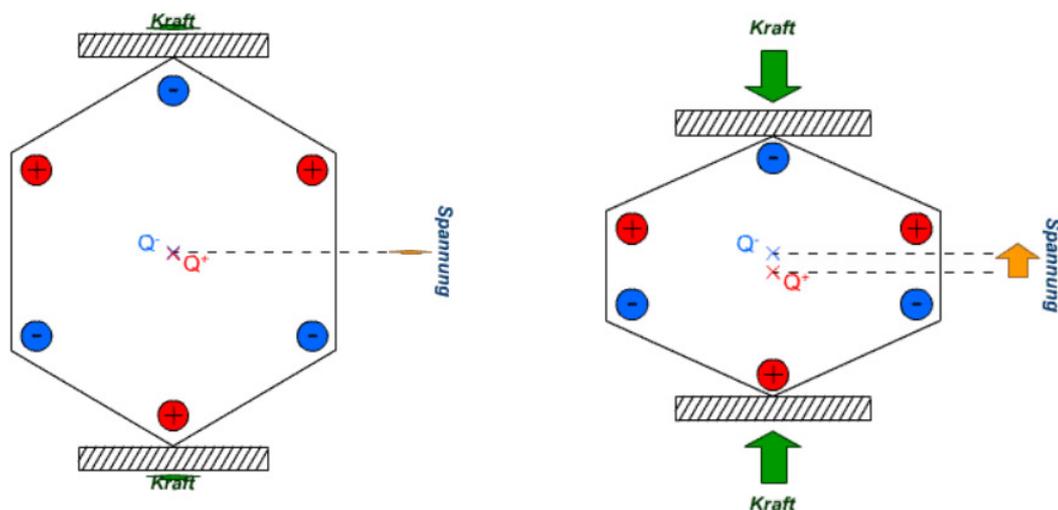




Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Piezoelektrische Drucksensoren

Der Piezoeffekt (piezoelektrische Effekt) bzw. die Piezoelektrizität entsteht, wenn man einen Festkörper elastisch verformt. Staucht man oder langt man einen Körper, so werden Ladungsträger verschoben. Dies hat zur Folge, dass durch die Ladungsträgerverschiebung ein Potenzialunterschied entsteht und somit eine Spannung proportional zur Krafteinwirkung erzeugt wird. Dieser Effekt wird als direkter Piezoeffekt bezeichnet. Liegt man umgekehrt an einen Körper eine Spannung an, verformen sich die Materialien. Dies nennt man den inversen Piezoeffekt.



Industriell hergestellte Piezoelemente sind zumeist Keramiken. Diese Keramiken werden aus synthetischen, anorganischen, ferroelektrischen und polykristallinen Keramikwerkstoffen gefertigt.

Gegenüber piezoelektrischen Kristallen haben piezoelektrische Keramiken wie PZT den Vorteil wesentlich höherer piezoelektrischer Koeffizienten. Vorteile der Kristalle Quarz, Galliumorthophosphat und Lithiumniobat sind höhere Temperaturstabilität, geringere Verluste und kaum vorhandenes Kriechen (also verzögerte Verformung) nach Änderung der angelegten Spannung.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Piezo-Druckmesszellen

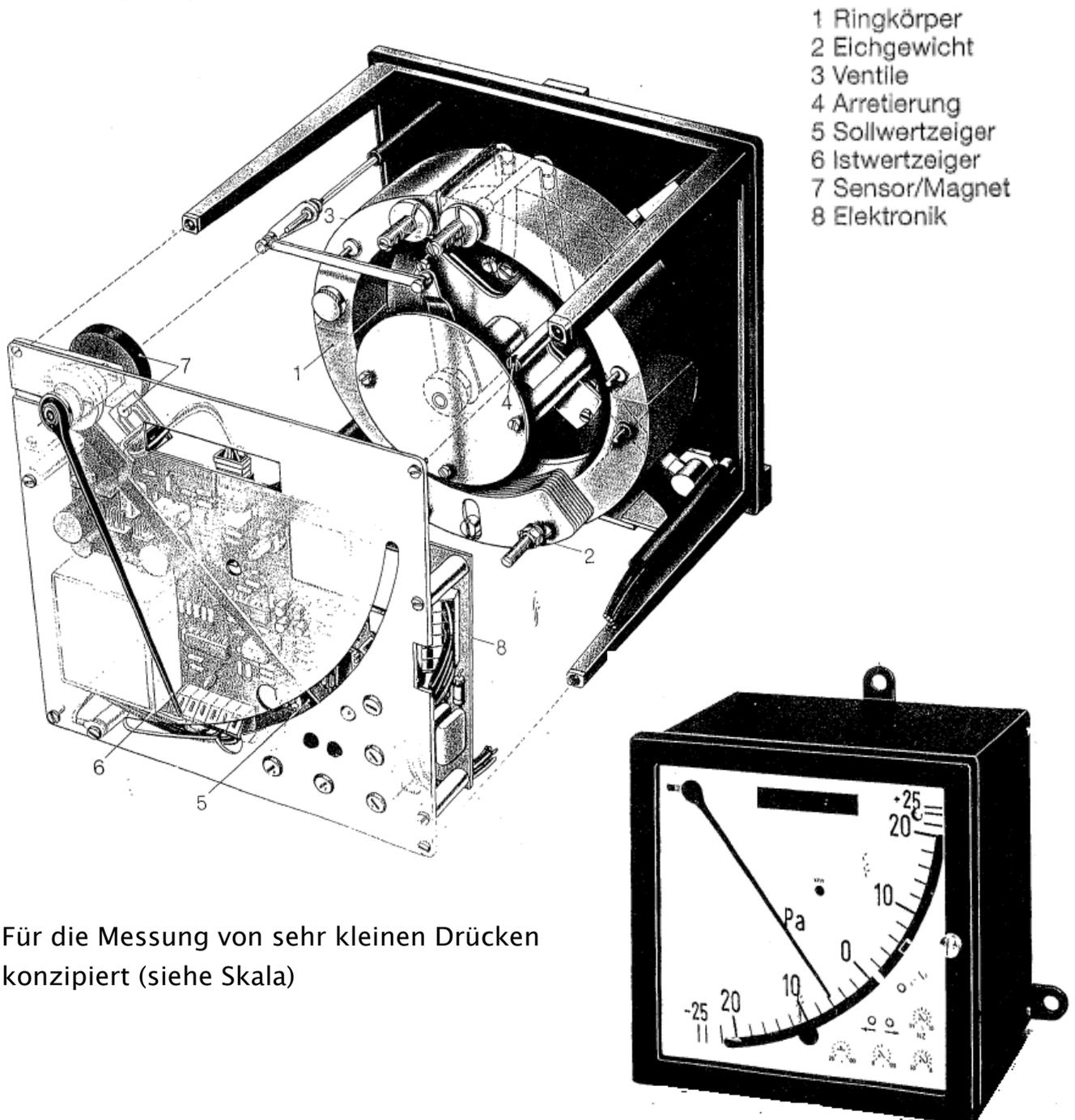


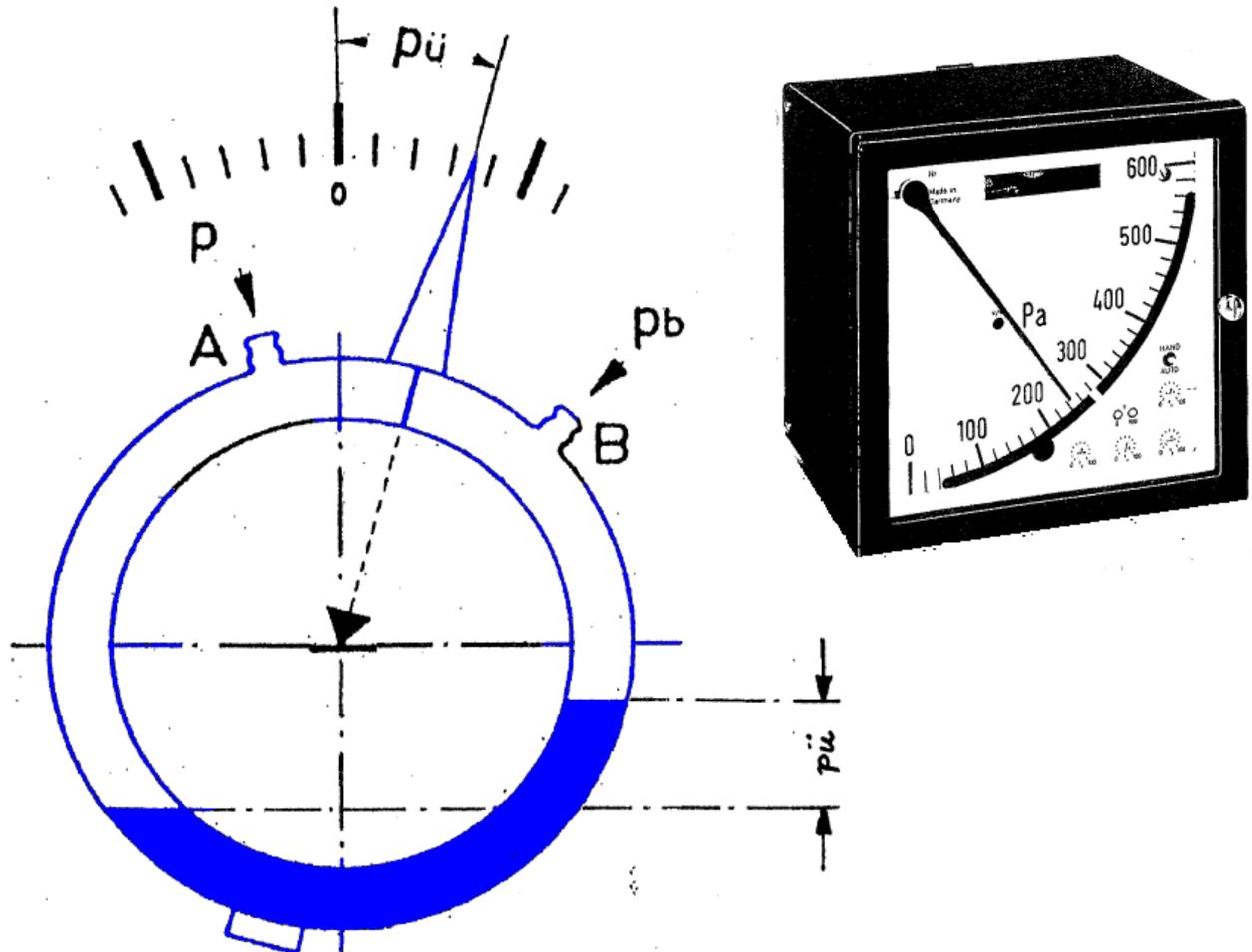


Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.9 Sonderbauformer, alte Druckmessgeräte

3.9.1 Ringwaage (Fa. Rixen)





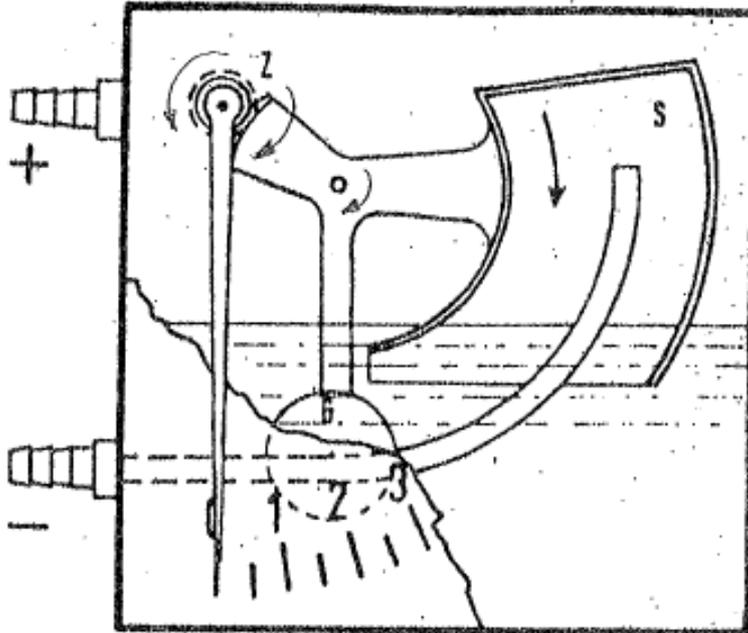
Dichte der Sperrflüssigkeit und Rohrdurchmesser → Messbereich

Eine weitere Anwendung des Flüssigkeitsmanometers ist die offene Ringwaage. Bei der Ringwaage ist das offene Rohr kreisförmig gebogen und um eine Achse drehbar gelagert. Bei A und B wirkt der zu messende Druckunterschied auf die Flüssigkeit. Die durch ihr hervorgerufene Flüssigkeitsverschiebung führt zu einer Drehung der Waage. Der Drehwinkel ist das Maß für den Druck. Die Dichte der Sperrflüssigkeit und der Rohrinne Durchmesser bestimmen den Messbereich.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.9.2 Tauchsichermesswerk



Eigenschaften:

Die kennzeichnenden Eigenschaften der Tauchsichel sind extrem hohe Meßempfindlichkeit.

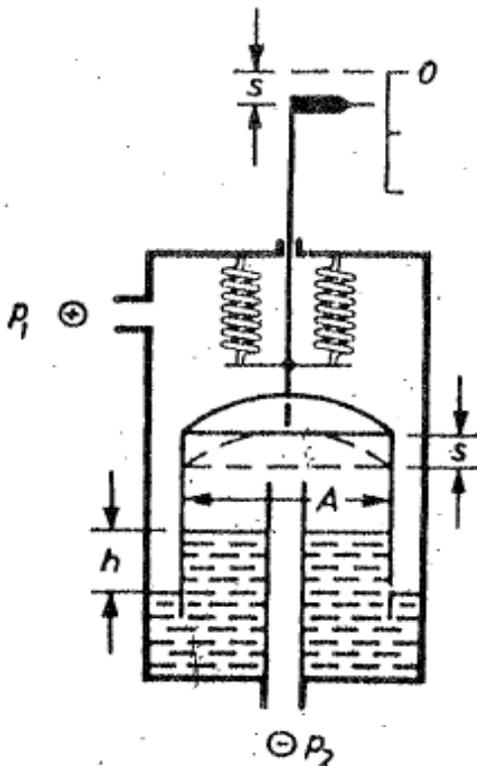
Das Gerät ist mit Öl bestimmter Dichte gefüllt.

Der durch den Anschlußstutzen unter der Sichel S geführte Zug bewegt diese abwärts bis in die Gleichgewichtslage mit Neigungsgewicht G. Zahnräder Z übertragen diese Bewegung auf den Zeiger. Gleichzeitig wird die Sperrflüssigkeit im Innern der Sichel aufwärts gesaugt.

Gehäusegröße: 192 x 192 nach DIN
Meßbereiche: kleinster 0 ... 0,6 mbar
größter 0 ... 10,0 mbar
Genauigkeit: Klasse 1 und 1,5
Überdrucksicher: bis 50,0 mbar



3.9.3 Tauchglockenmesswerk



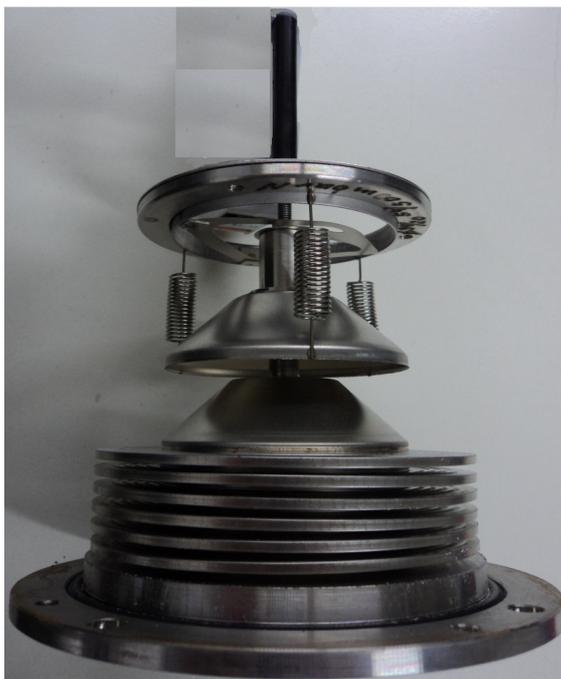
Auf die obere Kreisfläche der Glocke des Tauchglockenmeßwerkes wirkt die Druckdifferenz $\Delta p = P_1 - P_2$

die beim Glockenquerschnitt A die nach unten gerichtete Meßkraft $\Delta p \cdot A$ ausübt. Unter ihrer Wirkung wird die Spiralfeder mit der Federkonstanten c um den Ausschlag S gelängt. So entsteht die nach oben gerichtete Federkraft c. Beide Kräfte halten sich das Gleichgewicht und es gilt:

$$S = \frac{A}{c} \cdot \Delta p$$

Die auf die Seitenwände der Glocke wirkende Kräfte sind für ihre Festigkeit wichtig. Sie spielen aber für den Meßeffect keine Rolle. Die Höhe H der Sperrflüssigkeit errechnet sich mit ihrer Dichte

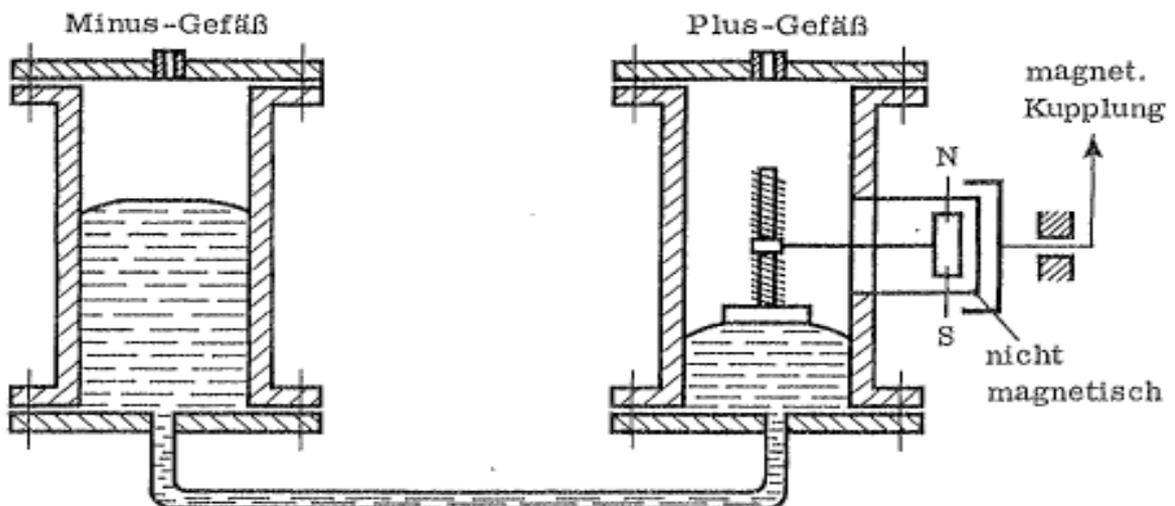
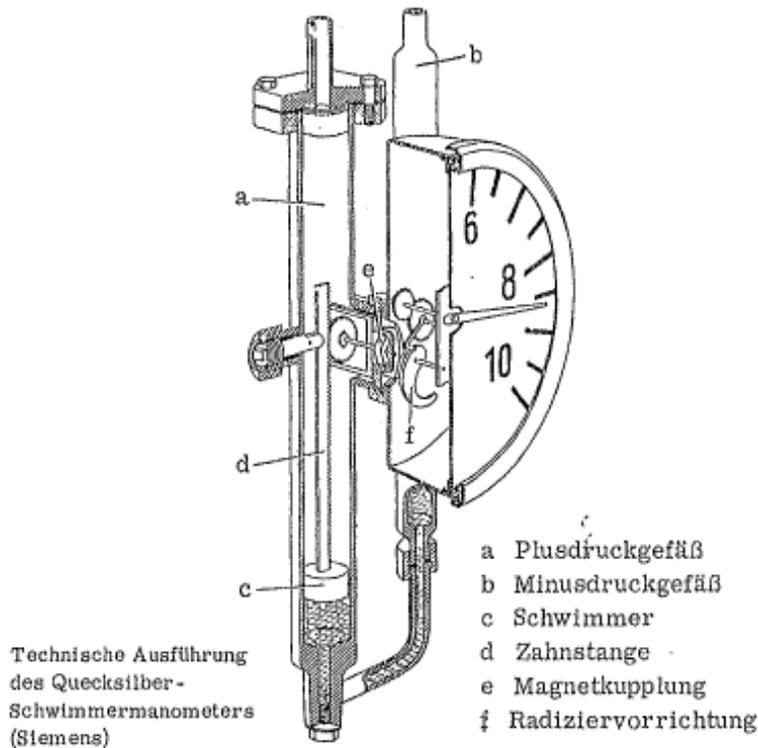
$$\Delta p = h \cdot \sigma$$





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.9.4 Quecksilber-Schwimmermanometer (Fa. Siemens)

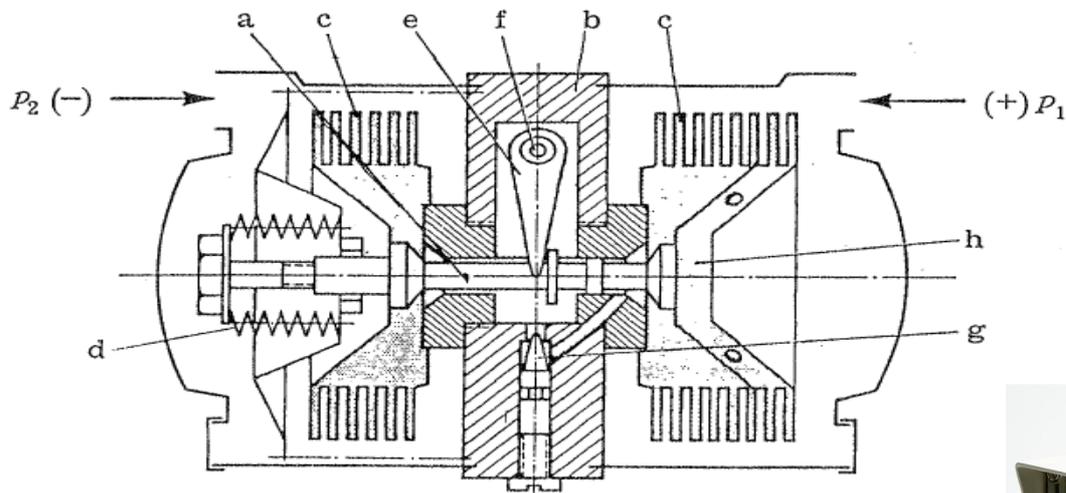


Prinzip des Quecksilber-Schwimmermanometers



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.9.5 Barton-Messzelle (Fa. Hartmann & Braun)



- a Ventilstange
- b Zentralplatte
- c Membranfaltenbalg
- d Meßbereichfedern
- e Übertragungshebel

- f Torsionsrohr
- g Nadelventil (Pulsationsdämpfung)
- h Temperaturausdehnungskammer

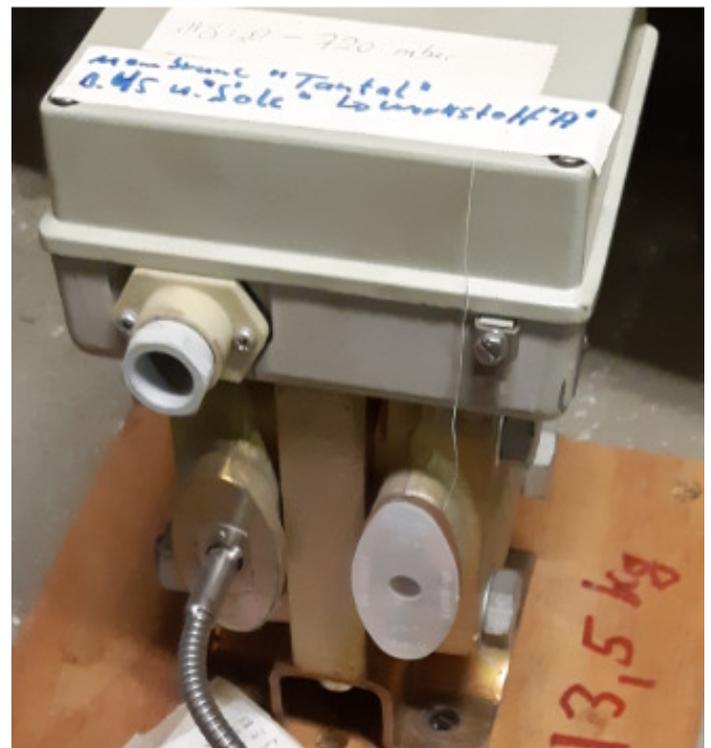


Die Barton-Messzelle gehört zu den elastischen Manometern, Sie besitzt ausgezeichnete Messeigenschaften und ist hoch überlastbar,

Auf beiden Seiten einer Zentralplatte b sind zwei Membranfaltenbälge c angeordnet, deren Bodenplatten durch eine Ventilstange a miteinander verbunden sind. Die beiden Faltenbälge c bilden einen Innenraum, der vom Messstoff abgetrennt und mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, um die Faltenbälge von Überlastung durch den statischen Druck zu schützen. Um einen möglichst kleinen Temperatureinfluss zu gewährleisten, verwendet man Wasser, das einen sehr kleinen Ausdehnungskoeffizienten besitzt. Der Temperaturgang des Faltenbalgsystems wird durch eine Ausdehnungskammer h beseitigt, die sich auf dem durchbohrten Bodenstück des plusseifigen Faltenbalges befindet.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Die Zentralplatte b ist zugleich Trennwand zwischen dem Plusdruck p_1 und dem Minusdruck p_2 . Werden die Faltenbälge c mit den Messdrücken beaufschlagt, so bewegen sich ihre Böden entgegen der Kraft der Messbereichsfedern d zur Minusdruckseite. Dabei verschieben sie die Ventilstange a und verdrehen über einen Übertragungshebel e das Torsionsrohr f . Das Problem der druckdichten Durchführung wird durch das Torsionsrohr auf elegante Weise gelöst.

Bei der Bewegung der Ventilstange a strömt die Füllflüssigkeit von dem einen Membranfaltenbalg c über ein Nadelventil g in den anderen, bis zwischen dem Differenzdruck $P_1 - P_2$ und der Kraft der Messbereichsfedern Gleichgewicht besteht. Bei Überlastung wird der Ventilkegel der Verbindungsstange a auf den Ventilsitz gepresst. Dadurch werden die Faltenbälge gegeneinander abgeschlossen und es tritt keine weitere Verformung mehr auf, da die Flüssigkeit inkompressibel ist.

Der Drehwinkel der verwendeten Torsionsdurchführung beträgt maximal 8° , deshalb werden genaue Winkelfühler mit kleinem Messbereich, nämlich induktive und magnetische Winkelfühler, benutzt.

Die Barton-Messzelle wird als Differenzdruckmesser für Messbereiche von 0,05 bar bis 28 bar bei einem Nenndruck bis zu ND 400 ausgeführt. Sie ist überlastbar bis zum Nenndruck. Der Messfehler beträgt maximal 0,5 % v. E.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.10 Druck- (Kraft-) Messung mittels Dehnmessstreifen

3.10.1 Grundlagen Dehnmessstreifen

Dehnmessstreifen, Dehnmessstreifen oder kurz DMS wurden 1938 in Massachusetts, USA, von Arthur Claude Ruge erfunden. Sie basieren auf einem simplen physikalischen Prinzip. Jeder elektrische Leiter besitzt nämlich einen elektrischen Widerstand. Dieser ist abhängig von Material, Temperatur und den geometrischen Abmessungen des Leiters. Uns interessieren die Abmessungen, da Material und Temperatur während einer Messung praktisch konstant sind:

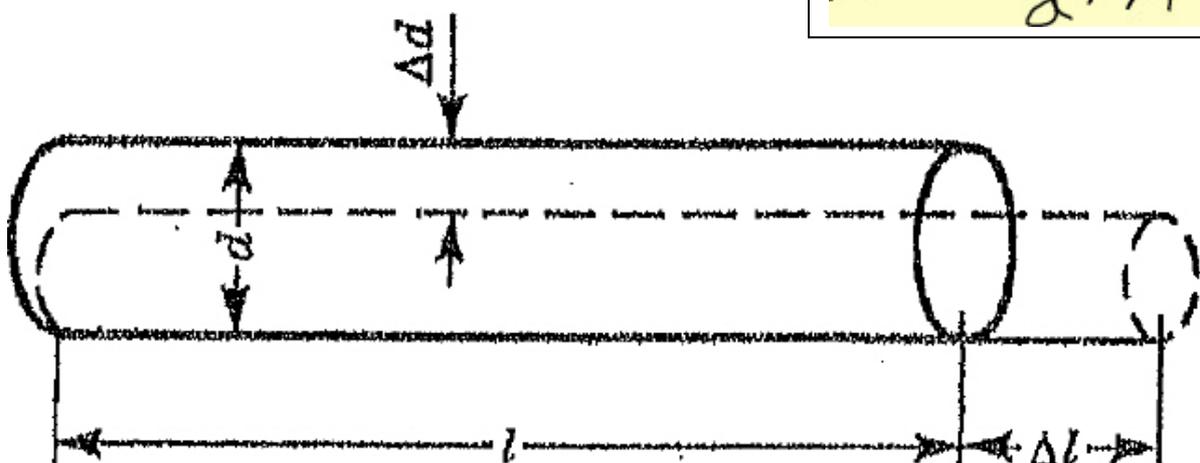
Bei steigender Länge des Leiters wird der elektrische Widerstand größer.

Bei steigendem Querschnitt des Leiters wird der elektrische Widerstand kleiner.

Daraus folgt, wenn ein elektrischer Leiter gestreckt wird, sich also seine Länge vergrößert und sich gleichzeitig sein Querschnitt verringert, steigt der Widerstand.

Und solange dies im elastischen Bereich erfolgt, funktioniert es auch umgekehrt. Wenn der elektrische Leiter gestaucht wird, sich seine Länge also verkürzt und sich sein Querschnitt vergrößert, so vermindert sich sein elektrischer Widerstand. Dieser Effekt wird für DMS genutzt.

$$R = \frac{l}{\rho \cdot A}$$





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Übliche Widerstandswerte für Dehnungsmessstreifen sind 120 Ohm seltener 600 Ohm. Der zulässige Messstrom liegt bei den meisten Streifen zwischen 10 und 20 mA, Die Messgitterlängen werden von 0,6 bis 150 mm ausgeführt. Häufig vorkommende Längen sind 3, 6 und 10 mm. Der günstigste Bereich für Dehnungsmessstreifen liegt bei etwa 1 ‰ Dehnung. Messstreifen sind bei Umgebungstemperaturen von – 270 °C bis 1000 °C verwendbar.

Die Reproduzierbarkeit ist hervorragend, der Effekt ist an sich frei von Hysterese, Durch die Einbettung in Kunstharz und das Aufkleben wird jedoch ein Nullpunktfehler hervorgerufen. Dieser entspricht bei einwandfreier Klebestelle für normale Dehnungsmessstreifen einem Wert unter 0,03 ‰ Dehnung, ihr schwingungsfeste Dehnungsmessstreifen einem Betrag von unter 0,01 ‰ Dehnung. Im unbelasteten Zustand sind Messstreifen unbegrenzt haltbar. Wegen des Aufklebens und der damit verbundenen Beschädigung beim Abnehmen sind sie jedoch nur für einen Versuch verwendbar.

Der k-Faktor

Der k-Faktor ist die wichtigste Eigenschaft des Dehnungsmessstreifens. Er beschreibt den **Zusammenhang zwischen Dehnung und Widerstandsänderung**.

Der k-Faktor ist **temperaturabhängig**. Mit typischen Temperaturkoeffizienten des k-Faktors von 0,01 %/K ist dessen verfälschender Einfluss auf das Messergebnis üblicherweise relativ klein und wird deshalb meistens ignoriert. Machbar ist jedoch auch eine rechnerische Kompensation (bei Messung der Temperatur).

$$\frac{\Delta R}{\Delta R_0} = k \cdot \varepsilon \quad \left(\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \right)$$

Im Allgemeinen ist der k-Faktor abhängig vom Messgitterwerkstoff und variiert, selbst innerhalb eines Fertigungsloses.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Ein hoher k-Faktor erhöht das Ausgangssignal an der Wheatstone-Brücke; ein niedriger k-Faktor verkleinert das Signal. Aus dem Grunde muss der k-Faktor vor jeder Messung eingestellt werden.

Werkstoffe für Metall-DMS und Halbleiter-DMS

Bezeichnung	Zusammensetzung	k-Faktor
Konstantan	54 % Cu 45 % Ni 1 % Mn	2,05
Nichrome V	80 % Ni 20 % Cr	2,2
Chromol C	65 % Ni 20 % Fe 15 % Cr	2,5
Platin-Wolfram	92 % Pt 8 % W	4,0
Platin	100 % Pt	6,0
Silizium	100 % p-Typ Si: B (Bor in ppm-Bereich)	+80...+190
Silizium	100 % n-Typ Si: P (Phosphor in ppm-Bereich)	-25...-100

Das E-Modul

Das E-Modul ist eine materialabhängige Eigenschaft des Messkörpers. Es beschreibt den **Zusammenhang zwischen der gemessenen Dehnung und der mechanischen Spannung**.

Das E-Modul ist temperaturabhängig. Ein typischer Wert für Stahl beträgt hier ca. – 0,02%/K. In der experimentellen Spannungsanalyse wird der Einfluss des E-Moduls üblicherweise vernachlässigt. Bei hochpräzisen, kalibrierbaren Aufnehmern erfolgt die Kompensation mittels temperaturabhängigen Nickelementen in der Brücke.

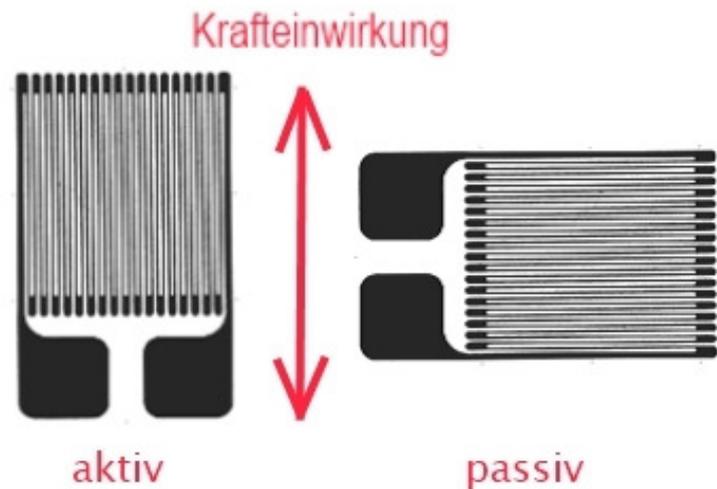
$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (E = f(T))$$



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

3.10.2 Aktive und passive Anbringung von DMS

Wird ein DMS passiv montiert, führt die Krafteinwirkung nur zu einem aufbiegen des DMS und nicht zu der gewünschten Längen- und Querschnittänderung.



3.10.3 Statische Fehler

Die Widerstände der Drahtdehnungsmessstreifen werden mit maximalen Fehlern von etwa 0,3 % hergestellt, als Toleranz ihr den K – Faktor sind meist bis zu 3 % zulässig. Der Messeffekt ist bis weit über die Elastizitätsgrenze des Materials sehr gut linear.

3.10.4 Einflussgrößen

Temperatur

Die wichtigste Einflussgröße bei Dehnungsmessungen ist die Temperatur, Denn außer von der Dehnung hängt die Widerstandsänderung des Messstreifens von der Temperaturdehnung des zu messenden Werkstückes vom Temperaturkoeffizienten des verwendeten Materials ab. Deshalb sind besondere Maßnahmen erforderlich, um den Einfluss der Temperatur klein zu halten.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Naheliegender ist es, ein Material für die Dehnungsmessstreifen zu verwenden, das bei der Messung auf einem bestimmten Werkstoff einem möglichst kleinen Temperatureinfluss unterworfen ist.

Ausgesuchtes Konstantan zeigt z. B. bei Messungen auf einer Stahloberfläche nur geringe vorgetäuschte Spannungen, die bei einer Temperaturänderung von 10 K innerhalb von $\pm 210 \text{ N/cm}^2$ liegen. Dieser kleine verbleibende Temperatureinfluss ist schaltungstechnisch sehr leicht zu kompensieren,

Eine weitere Möglichkeit Temperatureinflüsse zu bekämpfen, liegt in der Verwendung temperaturkompensierter Dehnungsmessstreifen, Ihr Widerstand setzt sich zusammen aus Anteilen mit positivem und negativem Temperaturkoeffizienten, die so gewählt werden, dass bei einem bestimmten Unterlagenwerkstoff der Temperaturfehler in einem gewissen Bereich verschwindet.

Eigenerwärmung des Dehnungsmessstreifens

Durch die Speisespannung erwärmt sich der Dehnungsmessstreifen gegenüber dem Messkörper. Je nach Wärmeleitfähigkeit des Messkörpers wird die Wärmeleistung mehr oder weniger an den Messkörper abgegeben. Bei schlecht wärmeleitenden Messkörpern kann es somit zu einem Temperaturunterschied zwischen Messkörper und Dehnungsmessstreifen kommen. Dies stört womöglich die Funktionsweise eines selbstkompensierenden Dehnungsmessstreifens. Beim Einhalten der maximalen Speisespannung ist dieser Effekt aber so gering, dass er vernachlässigt werden kann.

$$U_{max} = \sqrt{R \cdot A \cdot \lambda \cdot \frac{\Delta T}{d}}$$



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Klima und Luftfeuchtigkeit

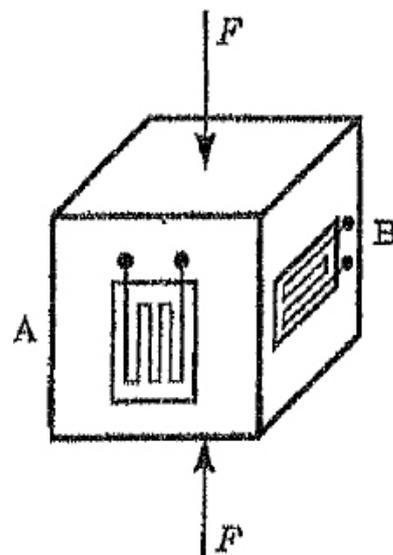
Bei einem unzureichenden Schutz der Messstelle kann eine Drift des Nullpunktes abhängig von der Luftfeuchtigkeit auftreten. Hintergrund ist die Aufnahme von Wassermolekülen des Klebstoffes und Dehnungsmessstreifen-Trägermaterials (Hygroskopie). Gegenmaßnahme bildet hier die sorgfältige Abdeckung der Messstelle.

Kriechen des Klebstoffs

Mit **zunehmender Temperatur werden Klebstoffe weich und können die Dehnung nicht mehr zu 100% übertragen**. Damit sind sie vergleichbar mit einem sinkenden k -Faktor. Daher ist es wichtig, immer die Temperaturgrenzen des Klebstoffs einzuhalten und diesen entsprechend dem Einsatzbereich auszuwählen.

Die häufigste Methode, um den Einfluss der Temperatur zu minimieren, wird durch geeignete Messschaltungen verwirklicht, Man benützt einen zweiten, gleichartigen Messstreifen, der der gleichen Temperatur ausgesetzt, mechanisch, aber unbelastet ist.

In einer Brücke werden der belastete Messstreifen und der unbelastete Blindstreifen so geschaltet, dass sich die Einflüsse der Temperatur gerade kompensieren.

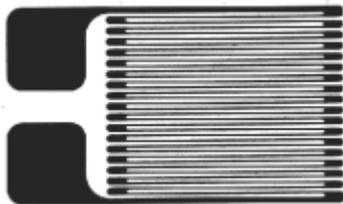




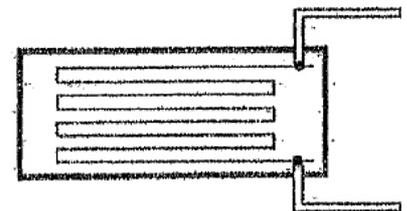
Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Dehnungsmessstreifen können dann angewendet werden, wenn die notwendigen Messkräfte zur Verfügung stehen, Die Kräfte, die dabei auf gebracht werden müssen, sind relativ groß und betragen etwa 10 N. Wenn die zur Verfügung stehenden Kräfte nicht genügend groß sind, so ergeben sich durch den Kraftverbrauch der Messstreifen scheinbar kleinere Dehnungen. Obwohl der Kraftaufwand bei Dehnungsmessstreifen sehr erheblich ist, ist die abgebbare elektrische Leistung sehr gering.

Arthur Claude Ruge klebte einen dünnen Widerstandsdraht in Mäanderform auf ein Stück dünnes Seidenpapier. Dies befestigte er an einem Biegestab. Er verglich die Widerstandsänderung mit der tatsächlichen Dehnung. Der Vergleich zeigte, dass zwischen den Ergebnissen seines DMS und denen eines herkömmlichen Dehnungsmessgeräts gute Übereinstimmung bestand.

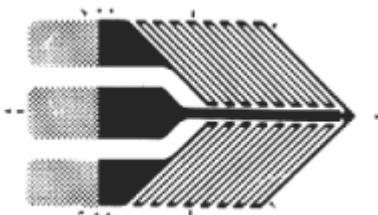


Folien-DMS



Draht-DMS

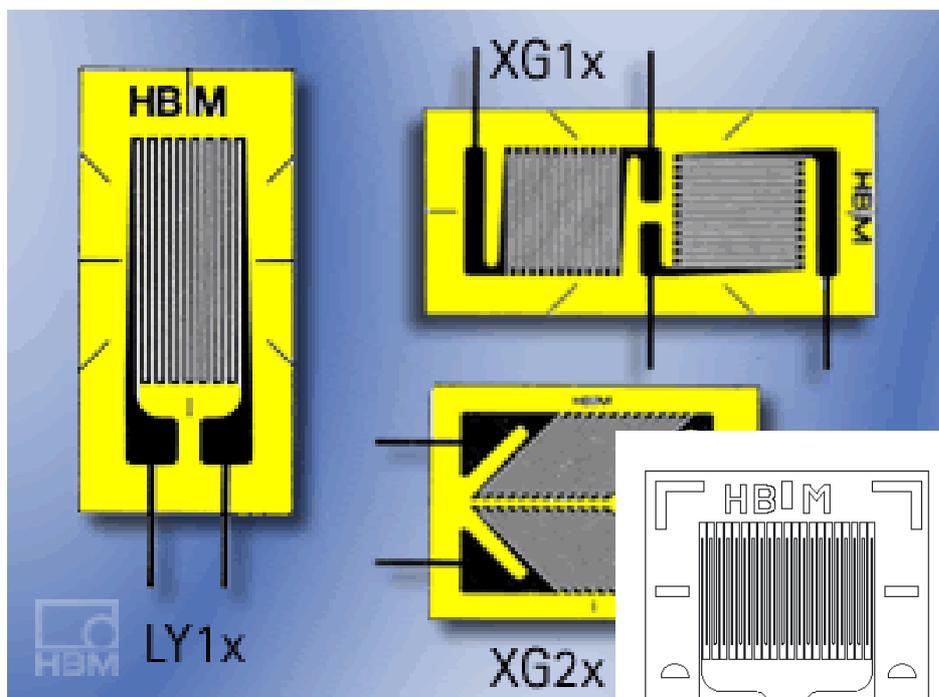
Heutzutage befindet sich ein hauchdünner Leiter auf einer Trägerfolie. Als Trägerfolie verwendet man beispielsweise Polyimid. Die Leiterbahn wird meist aus Konstantan gefertigt. Dieses weist eine hohe Temperaturstabilität auf.





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Zur Drehmomentmessung werden Dehnmessstreifen in Hauptspannungsrichtung an einem zugänglichen Wellenabschnitt appliziert. Idealerweise werden vier Dehnmessstreifen in einer Ebene senkrecht zur Drehachse, um 90 Grad versetzt und 45 Grad zur Wellenachse verdreht angeordnet. Somit liegen jeweils zwei Dehnmessstreifen genau gegenüber. Zur Vereinfachung der Installation werden zwei Dehnmessstreifen zu einem Paar zusammengefasst. Der Markt hält für diesen Einsatzfall spezielle DMS-Paare bereit.



Linear-DMS 1,5 mm, 350 Ω

Abmessungen:
- Messgitterlänge 1,5 mm
- Messgitterbreite 2,5 mm
- Gesamtlänge 5,6 mm
- Gesamtbreite 4,1 mm

Technische Daten

Messgitter

- Werkstoff: Konstantanfolie
- Dicke: 5 μm

Träger

- Werkstoff: Phenolharz, glasfaserverstärkt
- Basisdicke: 35 $\mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$
- Deckendicke: 25 $\mu\text{m} \pm 8 \mu\text{m}$

Anschlüsse

- integrierte Lötstützpunkte

Widerstand

350 $\Omega \pm 0,3\%$

Wärmeausdehnungskoeffizient

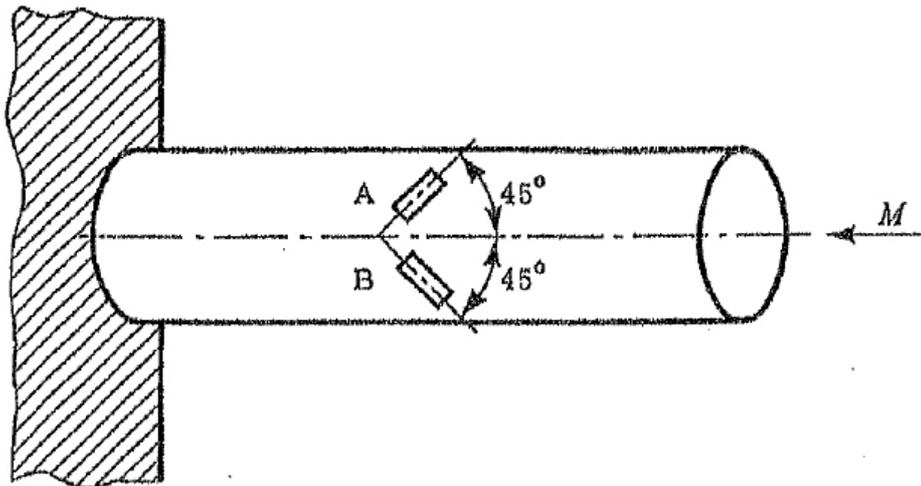
α für Stahl $10,8 \times 10^{-6}/\text{K}$

α für Aluminium $23 \times 10^{-6}/\text{K}$

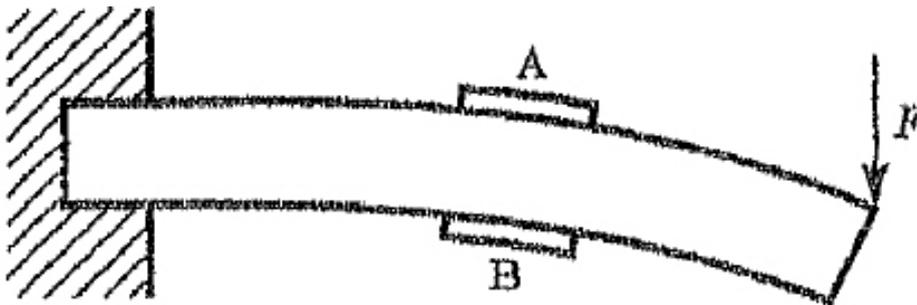
ie



3.10.5 Anwendungsmöglichkeiten



Messung der Torsion



Messung der Biegespannung



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024



Zugkraftmessung in einer Maschinenschraube



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024



Kraftmessbolzen

Der Lastmessbolzen KMB wurde gezielt für die Erfassung von Zug- und Druckkräften entwickelt, die z.B. durch Gabelköpfe bzw. Gabellager, Umlenkrollen und Wälzlagern in Bauteile (z. B. Laschen und Haken) eingeleitet werden. Messachsen und Kraftmessbolzen haben vielseitige Einsatzmöglichkeiten in der Logistik, wie z. B. Krananlagen oder Hochregallager sowie der Fertigungsautomation und dem Maschinen- und Anlagenbau. Die Überlastmessung stellt eine der häufigsten Anwendungen dar.

Ringkraftsensoren

Kraftmessringe nehmen mittlere bis hohe Zug- und Druckkräfte präzise auf. Insbesondere eignen sich die Ringkraftaufnehmer für den Einsatz an Spindeln, wie z.B. bei Pressen. Diese Ringkraftmesser kommen auch bei der Schraubkraftmessung, in Schnittwerkzeugen oder zur Ermittlung von Einpresskräften zum Einsatz.



Druckaufnehmer

DMS-Druckaufnehmer für statische und dynamische Druckmessung mit Messbereichen bis 500 bar. Mit Gewinde- oder SAE-Anschluss in bewährter Dehnungsmessstreifen-Technologie für die dynamische und statische Druckmessung von Flüssigkeiten und Fetten z. B. bei Hydraulikanwendungen in Walzmaschinen oder Getriebeprüfständen.



Zug- Druckkraftsensoren

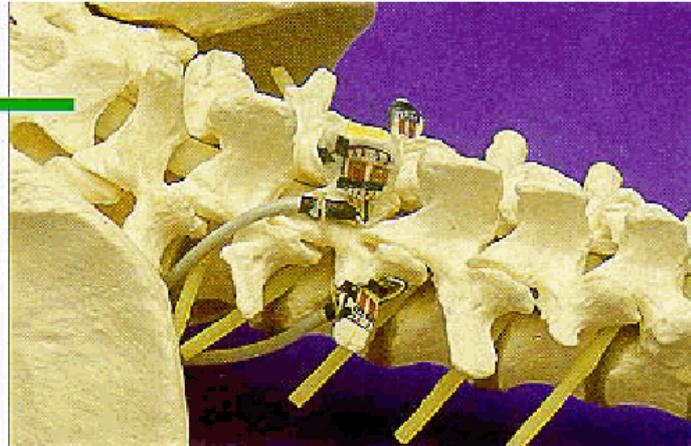
Zug- und Druckkraftaufnehmer können auf kleinstem Raum - Durchmesser und Höhe - relativ große Zug- und Druckkräfte genau messen. Diese Kraftmessgeräte sind aber auch in Miniaturbauform als Zug- oder Druckkraftmessgeräte mit geringem Bauraum erhältlich. Informieren Sie sich über unsere große Auswahl an Kraft- und Lastmesszellen.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

DMS für medizinische Anwendungen

Der Einsatz von DMS beschränkt sich nicht nur auf übliche Konstruktionswerkstoffe, sondern erstreckt sich auch auf Anwendungen aus der Medizin. Belastungsuntersuchungen an Knochen wurden ebenso erfolgreich mit HBM-DMS durchgeführt wie Kaukraftmessungen an menschlichen Gebissen.



Kraftmessungen an der menschlichen Wirbelsäule

Intradiskale Druckmessung zwischen L4/L5 (in vivo! n=1)

Aufrechter Stand = 100%

Aktion/Position	Maximaldruck [Mpa]	Proz. zu Stehen
Liegen auf dem Rücken	0,1	20
Liegen auf der Seite	0,12	24
Entspanntes Stehen	0,5	100
Stehen, stark vorgebeugt	1,1	220
Sitzen, bequem, ohne Lehne	0,46	92
Sitzen mit maximaler Flexion	0,83	166
Sitzen, lässig, mit Lehne	0,27	54
Gehen, barfuß	0,65	130
Gehen mit Tennisschuhen	0,65	130
Joggen mit harten Straßenschuhen	0,95	190
Joggen mit Tennisschuhen	0,85	170
Heben mit 20kg mit Rundrücken	2,3	460
Heben mit 20kg aus Knien	1,7	340
Halten von 20kg am Körper	1,1	220

=> Empfehlung nach Bandscheibenoperationen:
- Patient die Wahl der Position überlassen. Positionen, die als bequem empfunden werden, führen meist zu geringerer Belastung!

Hierfür wurde eine intradiskale Druckmessung durchgeführt werden, bei der durch einen endoskopischen Eingriff am lebenden Menschen zwei Druckaufnehmer in die Bandscheiben im unteren Rückenbereich implantiert wurden.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Sportarten mit hohem Bandscheibeninnendruck, asymmetrischer Wirbelsäulenbelastung und Torsion belasten die Bandscheiben.



Pitcher beim Baseball. Rundrücken, Torsion mit vertikal eingestellter Wirbelsäule: sehr starke Bandscheibenbelastung.

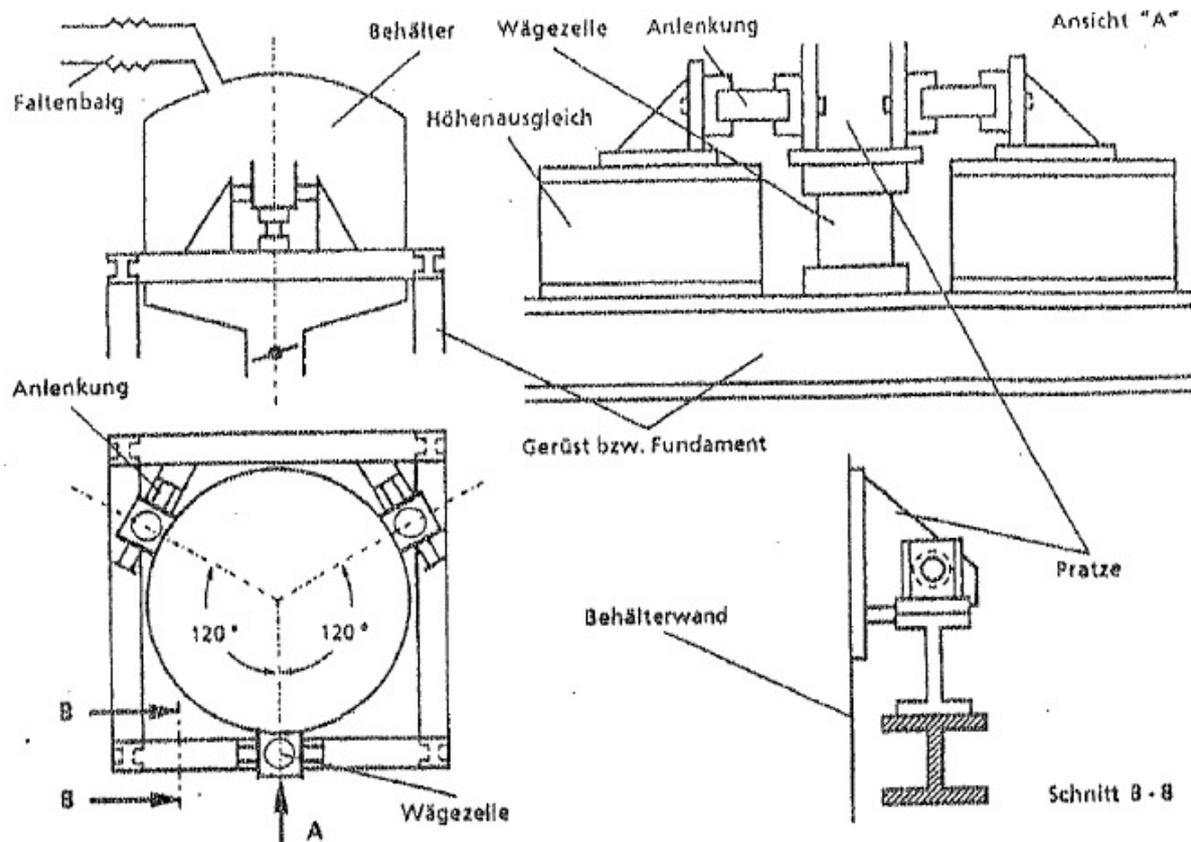
Die Auslenkungen der Wirbelsäule in der sagittalen Ebene (Ebene die den Körper vom Kopf zu den Füßen längs in 2 Teile teilt) sowie frontalen Ebene (Ebene die den Körper vom Kopf zu den Füßen quer in 2 Teile teilt) und vor allem rotatorische Belastungskomponenten zu vermeiden. Vor-, Seitneigung oder Torsion des Rumpfes sind ebenso charakteristische Merkmale zahlreicher Sportarten wie die Hyperlordose der LWS (Lendenwirbelsäule). Als **Hyperlordose** bezeichnet man eine Fehlhaltung, bei der eine übertriebene, ventral konvexe Krümmung (**Lordose**) der Wirbelsäule besteht.

Dies gilt z.B. für den Abfahrtslauf, Eiskunstlauf, Golf, Squash und Tennis. Bei anderen Sportarten ist eine rüchenschulgerechte Haltung schon eher möglich, wie z.B. beim Angeln, Motorsport und Segeln. Bei diesen Sportarten kommt es nicht so sehr auf Haltung und Bewegung, sondern eher auf Geschicklichkeit und Konzentration an.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Druckmesstechnik	25.02.2024

Gravimetrische Füllstandsmessung

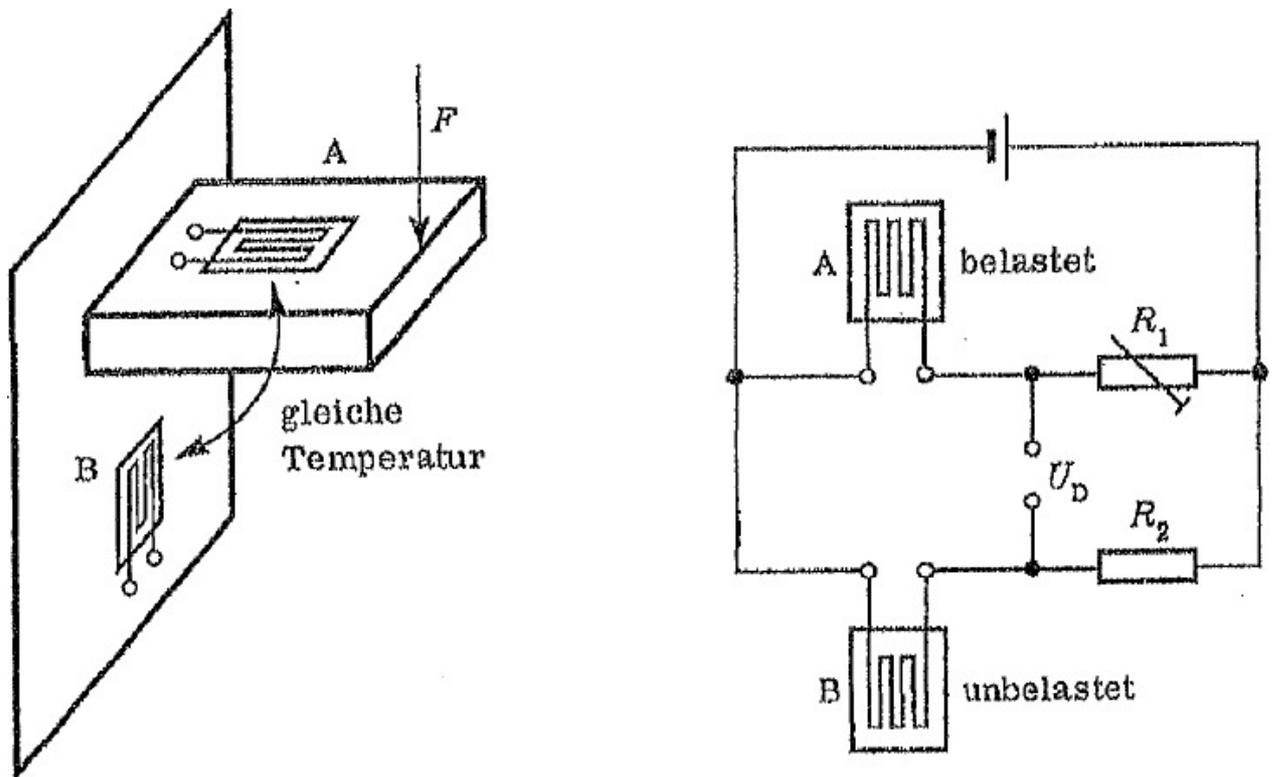


Niveaumessung / Behälterwaage



Portalkräne, Kranfahrzeuge
etc.

3.10.6 Messschaltung



Der DMS „B“ dient der Temperaturkompensation. Beide DMS sind der selben Temperatur ausgesetzt.

3.10.7 DMS-Materialien

- Konstantan (60% Cu, 40% Ni)
- Karma (74 % Ni, 20% Cr, 3 % Fe, 3 % Al)
- Platin-Iridium (90 % Pt, 10 % Ir)
- Platin (100 % Pt)
- Halbleiterwerkstoffe (hochdotiertes Silizium → schlechtere Linearität, höhere Empfindlichkeit)