
Inhalte

1	Prüfung des Rohrfedermanometers	1
2	Elektrische Druckmessumformer	2
2.1	Piezoresistiver Druckmessumformer	2
2.2	Induktiver Druckmessumformer	3
2.3	Vergleich der Druckmessumformer	4

1 Prüfung des Rohrfedermanometers

Die aufgenommenen Messwerte und die daraus berechneten Fehler sind im Prüfbericht festgehalten.

In Diagramm 1 sind die Prüfkurven dargestellt. Die rote Gerade kennzeichnet die Sollwert p_{soll} als Winkelhalbierende des ersten Quadranten. Die aufgenommenen Messwerte bei steigender Belastung $p_{\text{ist},1}$ sind als blaue Kreuze abgetragen und die dazu gehörige Gerade grafisch ermittelt wurden. Gleiches gilt bei den Messwerten absteigender Belastung $p_{\text{ist},2}$, welche violett markiert sind. Aus dem Diagramm lässt sich eine allgemeine Abweichung der Ist- von den Sollwerten erkennen, die sich durch einen größeren Anstieg ausdrückt.

Eine genauere Betrachtung der Messwerte, insbesondere der mittleren Fehler zeigt eine Abweichung der realen Werte von den Sollwerten insbesondere bei niedrigen Druckbelastung bis einschließlich $p_0 = 4,905$. Dies lässt sich direkt auf das manuelle Drehen des Kolbenmanometers zurückführen, in dem ein großer Einfluss bei geringen Belastungen des Kolbens liegt. Bei größeren vorgegebenen Drücken wirkt sich diese Fehlerquelle nicht mehr so intensiv aus, so dass auch der mittlere Fehler unter die maximal zulässige Fehlergrenze von 1 Prozent sinkt. Eine Messwertumkehrspanne lässt sich zwar feststellen, liegt jedoch mit einem Maximalwert von 0,999% genau an der zulässigen Fehlergrenze.

Es lässt sich schlussfolgern, dass das geprüfte Rohrfedermanometer der vorliegenden Fehlerklasse 1 genügt, die Prüfmethode jedoch bei niedrigen Druckbelastungen nicht so gut geeignet ist bzw. bei der Aufnahme der Messwerte auf eine geringere Beeinflussung geachtet werden muss.

Tabelle 1: Messwerte und Linearitätsfehler des piezoresistiven Druckmessumformers

p_{soll}	U	p_{soll}^2	$p_{\text{soll}} \cdot U$	Linearitätsfehler $\frac{ U_{\text{soll}} - U }{U_{\text{soll, max}}}$	
				grafisch %	rechnerisch %
bar	V	bar ²	bar · V		
0,981	2,78	0,962	2,727	3,3	2,5
1,962	3,91	3,849	7,671	≈ 0	≈ 0
2,943	5,05	8,661	14,862	2,4	2,5
3,924	6,24	15,398	24,486	4,2	4,4
4,905	8,54	24,059	41,889	3,0	3,7
5,886	9,67	36,645	56,918	0,6	1,2
6,867	10,89	47,156	74,782	1,8	0,5
Σ	27,468	47,08	134,731	223,334	

2 Elektrische Druckmessumformer

2.1 Piezoresistiver Druckmessumformer

Die Solldruckwerte für die Ermittlung der Ausgangsspannung des piezoresistiven Druckmessumformers sind durch die maximale Ausgangsspannung von $U = 10 \text{ V}$ begrenzt auf $p_{\text{soll}} \leq 7 \text{ bar}$. Die Werte der Messung mit dem piezoresistiven Druckmessumformer sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Approximation der Messwerte kann für lineare Probleme mit Hilfe einer vereinfachten Form der GAUSS'schen Normalgleichung geschehen. Es sind die Koeffizienten K und U_0 der Geradengleichung

$$U = K \cdot p + U_0 \quad (1)$$

zu bestimmen. Im gegebenen Fall erhält man diese aus

$$K = \frac{7 \sum p_i U_i - \sum p_i \cdot \sum U_i}{7 \sum p_i^2 - (\sum p_i)^2} \quad (2a)$$

$$U_0 = \frac{\sum p_i^2 \cdot \sum U_i - \sum p_i \cdot \sum p_i U_i}{7 \sum p_i^2 - (\sum p_i)^2} \quad (2b)$$

mit $\Sigma = \sum_{i=1}^7$. In Tabelle 1 sind ebenfalls die Produkte $p_i U_i$, p_i^2 mit angegeben, wie auch die benötigten Summen, so dass sich folgende Geradengleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate ergibt

$$U = 1,432 \frac{\text{V}}{\text{bar}} p + 1,106 \text{ V}. \quad (3)$$

Tabelle 2: Messwerte und Linearitätsfehler des induktiven Druckmessumformers

p_{soll} mbar	I mA	Linearitätsfehler $\frac{ I_{\text{soll}} - I }{I_{\text{soll, max}}}$ %
0	0,265	0,12
1	4,243	0,11
2	8,313	0,12
3	12,249	0,31
4	16,361	0,12
5	20,373	0,06

In Diagramm 2 wurden sowohl eine per Hand erstellte grafische Lösung für die Ausgleichsgerade als auch die in Gleichung (3) erhaltene Gerade eingetragen. Aus der grafischen Lösung wurde mit Hilfe des Anstiegendreiecks die Geradengleichung zu

$$U^* = 1,47 \frac{\text{V}}{\text{bar}} p + 1 \text{ V} \quad (4)$$

abgelesen.

Damit lassen sich nun jeweils für beide Lösungen die Linearitätsfehler als Differenz zwischen dem gemäß der Geradengleichung erwarteten Spannungswert U_{soll} und der tatsächlich gemessenen Spannung U nach

$$\frac{|U_{\text{soll}} - U|}{U_{\text{soll, max}}} \quad (5)$$

ermitteln. Es wurde der relative Linearitätsfehler durch eine Normierung auf die maximal zu erwartende Spannung $U_{\text{soll, max}} = 11,08 \text{ V}$ für die grafische Lösung bzw. $10,94 \text{ V}$ für die errechnete Ausgleichsgerade bestimmt. Beide Linearitätsfehler sind ebenfalls in Tabelle 1 verzeichnet.

2.2 Induktiver Druckmessumformer

Zur Überprüfung des induktiven Druckmessumformers wurden die Solldrücke mit einem Handkalibriergerät erzeugt und dabei der Strom I am Druckmessumformer aufgezeichnet. Die Messwerte sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Wie in Abschnitt 2.1 lässt sich mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate eine Ausgleichsgerade bestimmen. Die Vorgehensweise ist ähnlich zur Obigen, so dass gleich die ermittelte Geradengleichung mit

$$I = 4,024 \frac{\text{A}}{\text{bar}} p + 0,241 \text{ mA} \quad (6)$$

angegeben wird. Durch die genau Messung stimmt die Ausgleichsgerade sehr gut mit den gemessenen Punkten überein, wie aus Diagramm 3 ersichtlich wird. Es wurde darauf verzichtet per Hand eine Geradengleichung einzutragen, da diese im Rahmen der Ablesegenauigkeit mit der rechnerischen identisch wäre.

Wie in Abschnitt 2.1 lässt sich nun der Linearitätsfehler, der wiederum auf die laut Geradengleichung maximal zu erwartenden Stromstärke $I_{\text{soll, max}} = 20,261 \text{ mA}$ bezogen wurde, errechnen. Die Werte wurden ebenfalls in Tabelle 2 ergänzt.

2.3 Vergleich der Druckmessumformer

Prinzipiell lässt sich feststellen, dass der piezoresistive Druckmessumformer größere Linearitätsfehler liefert als der Induktive. Dies liegt in diesem Fall an der Art der Bereitstellung der Drucknormale. Für die Messung mit dem piezoresistiven Druckmessumformer wurden diese mit Hilfe des Kolbenmanometers erzeugt. Die höhere Fehleranfälligkeit zeigt sich schon in Abschnitt 1, besonders im geringeren Druckbereich. Es lässt sich trotz dessen eine Linearität der Abhängigkeit der gemessenen Spannung vom aufgebrauchten Druck erkennen, bestätigt durch die gleichmäßige Streuung der Messpunkte um die Ausgleichsgerade.

Im Gegensatz dazu zeigt der induktive Druckmessumformer ein nahezu ideal lineares Verhalten in diesem Messbereich, auch bei den sehr niedrigen Druckdifferenzen. Die Messwerte liegen mit so guter Näherung auf einer geraden, dass der Linearitätsfehler immer unter 0,3% liegt.