

Fehlerangaben in der Meßtechnik

1. Grundlagen zur Bestimmung von Meßunsicherheiten

Zur Beurteilung der Qualität von Meßverfahren und Meßgeräten dient unter anderem der Meßfehler. Die Angabe einer qualifizierten Meßunsicherheit ermöglicht dem Anwender, die Verlässlichkeit eines Meßergebnisses einzuschätzen.

Ein Gesamtmeßfehler kann in zufällige und systematische Fehler klassifiziert werden. Der „richtige Wert“ einer Meßgröße ist gleich dem Meßwert +/- Meßfehler.

Systematische Meßfehler können auf verschiedene Arten angegeben werden: als absoluter oder relativer Fehler:

absoluter Fehler = fehlerbehafteter Wert – richtiger Wert

Einheit des absoluten Fehlers ist die Einheit des Meßwertes
Beispiel für Längenmessung: Zylinderdurchmesser $d_z = (16,45 \pm 0,13)\text{mm}$
oder $d_z = 16,45\text{mm} \pm 0,13\text{mm}$. Unter „fehlerbehafteten Wert“ ist der eigentliche Messwert zu verstehen.

relativer Fehler = absoluter Fehler / Anzeigebereich

oder:

relativer Fehler = absoluter Fehler / wahrer Wert

Der relative Fehler ist dimensionslos und wird bevorzugt angegeben.
Beispiel Längenmessung: $d_z = 16,45\text{mm} \pm 0,13\%$ (Angabe des relativen Fehlers als prozentuale Meßunsicherheit). Einzig die Angabe eines relativen Meßfehlers nahe des Nullpunktes ist problematisch.

Die Erfassung von Meßabweichungen kann auf verschiedene Arten erfolgen:

1. einmalige direkte Messungen
2. mehrmalige direkte Messungen
3. einmalige indirekte Messungen
4. mehrmalige indirekte Messungen

Unter einer direkter Messung ist eine unmittelbare Meßdatenerfassung gemeint, z.B. Längenmessung über einen direkten Maßstab oder einer Lehre. Hier kann ein Meßergebnis direkt und unmittelbar mit der Referenz verglichen werden.

Eine indirekte Messung liegt vor, wenn sich ein Meßergebnis aus einer Summe von Teil- und Folgemessungen ergibt, z.B. kapazitive Längenmessungen, bei der sich die eigentliche „Ergebnisgröße“, die Länge in m, aus einer Folge von auf elektrische Größen basierenden Teilmessungen ergibt.

In der Praxis der Durchfluss- und Wärmemengenmessung sind nur mehrmalige Messungen aussagekräftig. Hierbei bedient man sich bei mehrmaligen direkten Messungen verschiedener statistischer Verteilungsfunktionen für die (Standard-) Abweichungen. Die bekannteste ist die Gaußsche Normalverteilung.

Für die Darstellung der Gesamtmessunsicherheit bei indirekten Messungen (mehrmalig) bedient man sich des quadratischen Fortpflanzungsgesetz (nach Gauß).

2. Messfehlerangaben in der Praxis

In der Durchfluss- und Wärmemengenmesstechnik werden die Geräte vor Auslieferung an den Kunden kalibriert bzw der Meßfehler bestimmt. Bei Danfoss IWK Regler erfolgen diese Kalibrierungen auf einem durch die Eichbehörde (PTB, Berlin) akkreditierten Prüfstand. Die so ermittelten Prüfergebnisse / Messfehlerangaben erfahren dadurch eine hohe Plausibilität und durch die permanenten Kontrollen der Prüfnormalen (Waage, Referenzgeräte, Temperatur- und Drucksensoren, ...) durch die PTB eine hohe Sicherheit.

Bei der Beurteilung der Meßunsicherheiten ist neben der Angabe des eigentlichen Zahlenwertes des relativen Fehlers eine Betrachtung des Gültigkeitsbereiches von großer Wichtigkeit. Dazu sind folgende Fragen zu berücksichtigen:

1. Ist die Angabe der Meßunsicherheit bezogen auf den Momentanwert (Angabe „vom Meßwert“ oder „vom MW“) oder auf den Endwert (Angabe „vom Endwert“ oder „bezogen auf den Endwert“ oder „vom EW“)?
2. Ist die Angabe des Meßfehlers allgemeingültig oder gibt es Beschränkungen im Gültigkeitsbereich, z.B. Beschränkungen hinsichtlich eines bestimmten Meß-, Temperatur- oder Druckbereiches?
3. Auf welchen Zahlenwert (eingestellte Meßspanne, eingestellter Endwert, 80% des eingestellten Endwertes, ...) ist die Unsicherheit bezogen bei Angaben „vom Endwert“?
4. Ist neben der Meßunsicherheit gleichzeitig die physikalische Größe bekannt, auf die sie sich bezieht?

5. Kann mit der angegebenen Meßunsicherheit die für den Anwender / Kunden interessante Meßgröße überhaupt bewerten werden? Ist die Meßunsicherheit bei Wasserdurchflussmessung tatsächlich auf den Volumenstrom (in m³/h oder l/h, allg.: [Volumen] / [Zeit]) oder lediglich auf einen (Teil-)Umformer des kompletten Meßsystems bezogen, welcher das primäre Messsignal in elektrische Größen umwandelt?

Ein Beispiel für die Angabe der Meßunsicherheit einer Dampfmessung soll aufzeigen, welche entscheidenden Unterschiede bei der Angabe eines Meßfehlers gemacht werden können und welche Auswirkung dies auf die Aussagekraft der Messfehlerangabe hat.

Bei Dampfmessungen ist für den Kunden in der Regel der Meßfehler bezogen auf den Massenstrom in kg/h oder t/h in dem im Betrieb auftretenden Durchflüssen von Interesse:

1. Angabe der Meßunsicherheit bei Danfoss IWK Regler GmbH (typische Angabe) am Beispiel einer kompletten Dampfdurchflussmessung mittels ISA-Düse, Differenzdruckumformer und Blendenrechenwerk einschließlich Temperatur- und Druckkompensation:

„Messgenauigkeitsangaben der gesamten Meßstrecke (Wirkdruckgeber, Differenzdruckumformer, Rechenwerk) bei Nasskalibrierung, Prüfmedium Wasser, bezogen auf den Massenstrom für verschiedene Differenzdrücke:

<i>Differenzdruck 2,8 – 600mbar =</i>	<i>1,2 – 17,4t/h:</i>	<i>≤ ±1% vom</i>
<i>Meßwert,</i>		
<i>Differenzdruck ca. 0,8 – 2,8mbar =</i>	<i>0,7 – 1,2t/h:</i>	<i>< ±3% vom</i>
<i>Meßwert“</i>		

Bei der Angabe des Meßfehlers wird die Meßgenauigkeit in Verbindung mit dem zugehörigen Meßbereich gemacht. Neben der Angabe des Wertepaares Meßunsicherheit ↔ Wirkdruck wird dem Kunden besonders die für ihn interessante Größe – der Massenstrom – und dessen Meßunsicherheit transparent offengelegt. Eine Berücksichtigung von physikalischen Zusammenhängen zwischen Meßgröße – dem Wirkdruck am Volumengeber – und Massenstrom ist nicht notwendig, da sich die Angabe des Meßfehlers auf den Massenstrom bezieht.

Die Angabe der Meßunsicherheit bezogen auf den Meßwert ist sehr viel aussagekräftiger als eine Angabe „vom Endwert“. Bei der Angabe eines Meßfehlers vom Endwert müßte der konstante Wert in einem zweiten Schritt gedanklich immer in Relation zum eigentlichen Meßpunkt bzw. dem jeweiligen Momentanwert gesetzt werden.

Der Kunde hat die Kenntnis über den Meßfehler bezogen auf den Massenstrom in einem Zahlenwert. Eine Bewertung und Kenntnis von einzelnen Fehlern der Komponenten (Wirkdruckgeber, Differenzdruckumformer, Rechenwerk, Temperaturfühler, Absolutdruckmessumformer) mit deren einzelnen Meßunsicherheiten ist nicht notwendig, mathematische Verknüpfungen und Berechnungen (quadratisches Fortpflanzungsgesetz) müssen nicht angestellt werden.

Ein großer Vorteil ist die Angabe des Meßfehlers auf die gesamte Meßkette (s.o.). So hat der Kunde genaueste Kenntnis über die Meßunsicherheit des gewünschten Meßwertes, dem Massenstrom.

2. Angabe eines Herstellers für Wirkdruckmessumformer, die zur Durchflussmessung mittels klassischen Wirkdruckgebern eingesetzt werden:

„Meßgenauigkeit: 0,075% der eingestellten Meßspanne (Anmerkung: mit Messgenauigkeit ist die Referenzgenauigkeit gemeint)

Gesamtgenauigkeit: 0,15% der eingestellten Meßspanne bei einer Temperaturänderung von - 28°C bis zu einem statischen Druck von 70bar bei einem Messspannenverhältnis von 1:1 bis 1:5

Bei dem oben wiedergegebenen Text handelt es sich um eine sehr gebräuchliche Spezifizierung von Meßfehlern für Hersteller von Wirkdruckmesstechnik. Dabei steht die Angabe einer Meßgüte allein für den Differenzdruckumformer im Vordergrund. Weitere Fehlerangaben und für die Durchflussmesstechnik sehr wichtige Daten wie Gesamtmessungenauigkeit in bezug auf den Massedurchfluss können nicht angegeben werden, da lediglich eine Komponente – der Differenzdruckumformer - der gesamten Messkette beurteilt wird.

Der Angabe der Meßgenauigkeit „0,075%“ ist keine Meßspanne zugeordnet. Man kann keine Aussage darüber machen, „wie lange“ im späteren Betrieb der Meßfehler gilt. Sinnvoll wäre hierbei eine Angabe wie folgt: „0,075% für die Meßspanne 10 – 100% vom eingestellten Messendwert 500mbar“.

Des weiteren werden keine Angaben gemacht, ob es sich beim Zahlenwert des Meßfehlers um eine Angabe „auf den Momentanwert“ oder „auf den Endwert“ bezieht. Tatsächlich beziehen sich alle Angaben auf einen Endwert, der je nach Umformertyp unterschiedlich sein kann, was einen direkten Vergleich unmöglich macht.

Unter Berücksichtigung, daß bei einer solchen Angabe für den Kunden nicht eindeutig erkennbar ist, wie ein Massenstrom oder Volumendurchfluss zu bewerten ist, sind solche Angaben wie in Beispiel 2 zur Beurteilung einer Meßgüte in der Durchfluss- und Wärmemengenmessung nicht sinnvoll.

Für den Kunden sind physikalische Zusammenhänge zwischen Wirkdruck und Durchfluss und deren mathematische Verknüpfungen, andere fehlerbehaftete Meßgrößen wie Druck, Temperatur, Durchfluss- und Energierechner im allgemeinen unbekannt. Daher ist eine Angabe eines Meßfehlers bezogen auf nur eine Teilkomponente – wie in diesem Beispiel auf den Differenzdruckumformer – für hochgenaue Durchfluss- oder auch Wärmemengenmessung unbrauchbar.

Vom Kunden wird daher eine Angabe für einen Gesamtmeßfehler eines Messsystems bezogen auf einen Durchfluss wie in Beispiel 1 beschrieben vorgezogen.

Für einen graphischen Vergleich von unterschiedlichen Messfehlerangaben und deren Auswirkung speziell im unteren Meßbereich sollen nachfolgende Darstellungen verdeutlichen:

Differenzdrucktransmitter: Vergleich der Meßfehler-„Hüllkurven“:

<A> Typische Meßabweichung von marktüblichen Differenzdruckumformern
 Meßabweichung $\pm 0,075\%$, bezogen auf den Endwert!

**** Typische Meßabweichung von Danfoss IWK Meßumformern DT311

