

Pulsationsbedingte Gasmengenmeßfehler bei den Wirkdruckverfahren

Andreas Brümmer

Schlagwörter: Messen · Steuern · Regeln, Meßfehler, Durchflußmessungen, Wirkdruckprinzip

Nach einer kurzen Erläuterung der Arbeitsweise der Durchflußmessungen mittels Drosselgeräten werden die dominanten Fehlerquellen, die zum Teil beachtliche Mengenmeßfehler verursachen, benannt und in drei Kategorien unterteilt. Es wird ein empfohlenes Vorgehen zum Erkennen, Abschätzen und Mindern dieser Fehlerquellen aufgezeigt. Die erste Kategorie beinhaltet Fehlerquellen, die zu einer Verfälschung der innerhalb des strömenden Fluids an den Druckentnahmestellen anliegenden Drücke führen. Hierzu zählt zum Beispiel ein pulsierender Massenstrom. Bedingt durch diese instationäre Strömung ist auch der am Drosselgerät erzeugte Wirkdruck eine Funktion der Zeit. Während eine direkte Messung der Massenstrompulsationen in der Praxis kaum möglich ist, läßt sich der Wirkdruck auf einfache Weise mit einem schnellen Differenzdruckgeber messen. Es wird ein Verfahren skizziert, mit dem dieser gemessene Wirkdruck in die zugehörige Massenstrompulsation umgerechnet werden kann. Damit ist die Korrektur des unter Annahme stationärer Verhältnisse bestimmten, fehlerbehafteten Massenstromes möglich. Das Verfahren wird durch Meßergebnisse verifiziert und auf einen konkreten Fall aus der Praxis angewandt. Die Fehlerquellen, die den Wirkdruck zwischen den Druckentnahmebohrungen und dem Differenzdruckgeber verfälschen, gehören in die zweite Kategorie. In diese Gruppe fallen zum Beispiel akustische Resonanzen innerhalb der Wirkdruckleitungen. Die Auswirkungen dieser Resonanzen werden erläutert und das Erscheinungsbild anhand von Meßergebnissen vorgestellt. Die grundsätzlichen Regeln zur Vermeidung derartiger Fehlerquellen werden genannt. Die dritte Kategorie umfaßt die Fehlerquellen vom Differenzdruckgeber bis zum ausgegebenen Zahlenwert des Massenstromes. Als Beispiel wird der Einfluß der Grenzfrequenz des eingesetzten Differenzdruckgebers im Zusammenhang mit akustischen Resonanzen innerhalb der Wirkdruckleitungen dargestellt. Abschließend wird ein praktisches Vorgehen empfohlen, um Fehlerquellen an kostenintensiven oder prozeßtechnisch relevanten Durchflußmeßeinrichtungen nach dem Wirkdruckprinzip aufzudecken sowie die Größe der Meßfehler abzuschätzen und gegebenenfalls zu mindern. Letztendlich zeigt sich, daß zur Beantwortung der anfangs gestellten Frage eine systematische meßtechnische Untersuchung an der Mengenmeßeinrichtung unumgänglich ist.

After a brief explanation of the flowmetering by means of active pressure devices the dominant sources of error concerning the indicated flowrate are outlined and categorized into three types. Recommendations to realize, evaluate and reduce these sources of error are given. The first category comprises sources of error that lead to a falsification of the pressure within the fluid of the pressure tapings. This includes for example pulsation flow conditions, that cause an unsteady active pressure and hence are responsible for serious errors in the indicated flowrate. A procedure to correct these errors is outlined. The method is based on the measured active pressure using a fast response differential pressure transducer. The procedure is verified using experimental results and applied to an example from real life. The sources of error, falsifying the differential pressure between the pressure tapings and the manometer, are part of the second category. This group comprises for example acoustic resonances within the connecting tubes. The characteristic consequences of these resonances are explained using measuring results. In addition principle rules in order to avoid these problems are mentioned. The third category includes all sources of error between the differential pressure transducer and the indicated flowrate. As an example the influence of a slow response differential transducer is described in case acoustic resonances within the gauge lines are present. Finally, practical criterias are given in order to identify, evaluate and reduce sources of error at cost-intensive or technically process-relevant flowmeter installations.

1. Einleitung

Welche Genauigkeit besitzt eine im Feld installierte Mengenmeßeinrichtung? Diese Frage gewinnt mit der Liberalisierung des Gasmarktes zunehmend an Bedeutung. Zwar sind

¹ Mit einer Verfälschung ist die Abweichung des anliegenden, zeitlich gemittelten Wirkdruckes von dem Wert gemeint, der sich bei gleichem Massenstrom an der Meßeinrichtung unter idealen (fehlerfreien) Verhältnissen einstellen würde.

Dr.-Ing. Andreas Brümmer, KÖTTER Beratende Ingenieure GmbH, Bonifatiusstraße 400, D-48432 Rheine.

die im Prüfstand festgestellten Meßgenauigkeiten verschiedener Meßeinrichtungen bereits durchaus beachtlich, die Praxis zeigt jedoch, daß die in ausgeführten Anlagen erreichten Genauigkeiten häufig ganz erheblich geringer sind [1; 2].

Die Gründe hierfür lassen sich bei den nach dem Wirkdruckprinzip arbeitenden Meßeinrichtungen (z.B. Blenden, Düsen, Venturirohre) in drei Kategorien einteilen. Die erste Kategorie beinhaltet alle Ursachen, die zu einer Verfälschung¹ der innerhalb des Fluids an den Druckentnahmestellen anliegenden Drücke führen. Hierzu zählen zum Beispiel die strömungstechnisch bedingten Fehldrücke infolge von Drallströmungen oder Volumenstrom- bzw. Druckpulsationen.

tionen. In die zweite Kategorie gehören alle Einflußfaktoren, die den Wirkdruck zwischen den Druckentnahmestellen und dem Differenzdruckgeber (einschließlich der im Differenzdruckgeber vorhandenen Volumina) verfälschen. In diese Gruppe fallen unter anderem die durch akustische Resonanzen innerhalb der Wirkdruckleitungen oder die durch Ausgleichsströmungen bedingten Fehler. Die dritte Kategorie beinhaltet letztlich die vom Differenzdruckgeber und der nachgeschalteten Auswertung verursachten Mengenmeßfehler.

Nach einer kurzen Erläuterung der Mengenmessung mittels des Wirkdruckverfahrens werden im weiteren einige Fehlerquellen pro Kategorie erläutert und deren Erscheinungsbilder an Beispielen aus der Praxis dokumentiert. Anschließend werden verschiedene Vorgehensweisen zur Verminderung bzw. zur Korrektur der jeweiligen Mengenmeßfehler aufgezeigt.

2. Prinzip der Wirkdruckverfahren

Bei diesem Verfahren wird in das vom Fluid durchströmte Rohr eine Querschnittsverengung (z. B. Blende, Düse, Venturirohr) eingebaut [3]. In der Einschnürung erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit auf Kosten der Druckenergie. In Abhängigkeit vom Drosselgerät stellt sich entlang der Rohrachse ein typisches Strömungsbild mit einer entsprechenden Druckverteilung ein. Als Beispiel hierfür ist in *Bild 1* der qualitative Strömungsverlauf und die Druckverteilung für eine Blendenströmung dargestellt.

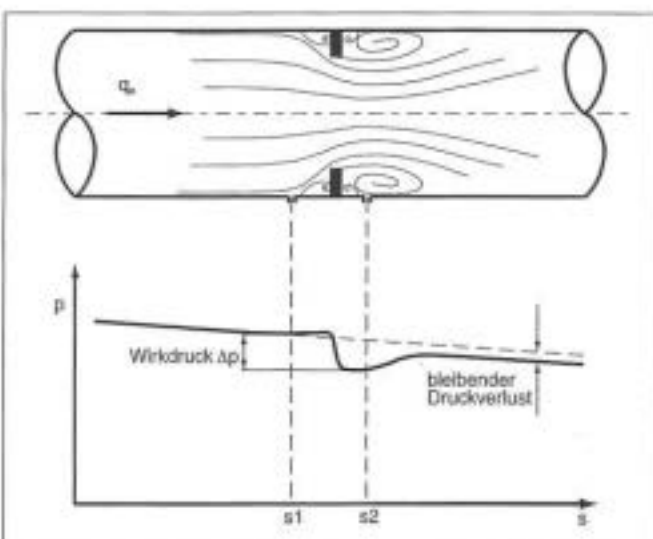


Bild 1. Qualitativer Strömungs- und Druckverlauf durch eine Blende.

Durch Abgreifen der Druckverteilung an zwei Positionen läßt sich ein Differenzdruck Δp messen, der als Wirkdruck bezeichnet wird. Die Lage der Druckentnahmestellen ist für jedes Drosselgerät festgelegt. Mit dem Wirkdruck, verschiedenen geometrischen Parametern sowie einigen Stoffdaten ergibt sich der gesuchte Massenstrom q_m . Für die Berechnung der geförderten Menge muß dieser Massenstrom noch über die Zeit integriert werden.

3. Erkennen, Abschätzen und Mindern von Fehlerquellen

3.1 Einfluß der Strömungsverhältnisse

Die Bedingungen, unter denen die Durchflußmessungen mittels der Wirkdruckverfahren zu den ausgewiesenen Genauigkeiten führen, werden in [3] genannt. Hierzu zählt unter anderem eine drallfreie und stationäre Zuströmung. Die drallfreie Strömung läßt sich durch den Einsatz von Strömungsgleichrichtern relativ einfach und kostengünstig realisieren. Grundsätzlich wird der Einfluß einer drallbehafteten Strömung auf die Meßgenauigkeit von Blenden sowie die Wirkung von Gleichrichtern in [4] untersucht. Schwieriger wird es hingegen mit der Forderung einer stationären Strömung, also mit der Vermeidung von Druck- bzw. Volumenspulsationen. Die Gründe hierfür sind verschieden. Zum einen ist den Betreibern häufig das Vorhandensein von Pulsationen (z. B. hervorgerufen durch akustische Resonanzen innerhalb einzelner Rohrleitungsabschnitte) gänzlich unbekannt. Zum anderen sind pulsationsmindernde Maßnahmen zum Teil sehr aufwendig und kostenintensiv. Bei der Ausführung der Maßnahmen stellt sich zudem die Frage nach den noch zulässigen Restpulsationen.

Ob es im Bereich der Meßeinrichtung zu störenden Pulsationen innerhalb der durchströmten Rohrleitung kommt, kann durch die Messung des Differenzdruckes unmittelbar am Drosselgerät – also ohne eventuell vorhandene lange Wirkdruckleitungen – überprüft werden. Hierzu sollte ein

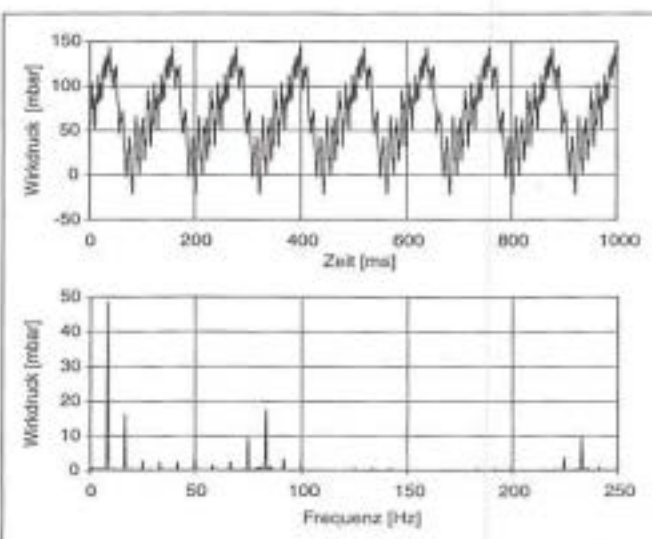


Bild 2. Zeitsignal und Amplitudenspektrum des über eine Normblende (Daten s. Text) gemessenen Wirkdruckes (zeitlicher Mittelwert $\Delta p_0 = 67$ mbar).

Differenzdrucktransmitter mit einer hohen Grenzfrequenz verwendet werden. Es sollten das Zeitsignal bzw. das in den Frequenzbereich transformierte Differenzdrucksignal abgespeichert werden, wobei die Messungen möglichst bei verschiedenen Betriebs- und Anlagenzuständen (z. B. Volumenströme, Temperaturen) zu wiederholen sind.

Ein Beispiel für ein derartiges Differenzdrucksignal ist in Bild 2 zusammen mit dem zugehörigen Amplitudenspektrum dargestellt. Die Messung wurde an einer Normblende (Rohrleitungs-Innendurchmesser $D = 207$ mm, Blendenbohrung $d = 52$ mm) in einer von Ethylen (Betriebsdichte $\rho = 17$ kg/m³, Druck $p = 75$ bar a, Temperatur $T = 35$ °C) durchströmten Rohrleitung durchgeführt. Das Ethylen wird von einem entfernt gelegenen Hubkolbenverdichter (2. Stufe einfach wirkend, Drehzahl $n = 500$ U/min) gefördert.

Im Gegensatz zu dem gewünschten, konstanten Signal unterliegt der Differenzdruck ganz erheblichen Schwankungen. Die Schwankungen um den zeitlichen Mittelwert von $\Delta p_0 = 67$ mbar führen zum Teil sogar zu einem negativen Differenzdruck, was ein Rückströmen des Ethylens innerhalb der Rohrleitung vermuten lassen könnte. Wie später gezeigt wird, kommt es im vorliegenden Fall jedoch nicht zu einer Rückströmung.

Anhand des Amplitudenspektrums wird unmittelbar die Ursache für die Differenzdruckschwankung ersichtlich. Sie liegt in dem diskontinuierlichen Fördervorgang des Hubkolbenverdichters, der eine Volumenstrompulsation zur Folge hat. Die Frequenzen dieser Volumenstromschwankungen stimmen mit den festgestellten Frequenzen der Differenzdruckpulsation überein.

Wird der gemessene, zeitlich gemittelte Wirkdruck von $\Delta p_0 = 67$ mbar anhand der in [3] genannten Beziehungen in den Massenstrom umgerechnet, dann ergibt sich ein Wert von $q_{m, \text{Fehl}} = 7776$ kg/h. Dieser Massenstrom entspricht jedoch nicht dem tatsächlich im zeitlichen Mittel durch die Normblende fließenden Massenstrom $q_{m, \text{IST}}$. Um den tatsächlichen Durchfluß zu ermitteln, muß die instationäre Bernoulli-Gleichung [5] herangezogen werden. Im Gegensatz zu der in [3] verwendeten stationären Bernoulli-Gleichung wird auf diese Weise die lokale, zeitabhängige Beschleunigung des Fluids mit berücksichtigt.

Durch Einführung der Größen

f_1	Frequenz der Grundschiwingung des Wirkdruckes [Hz],
$\tau = 1/f_1$	dimensionslose Zeit,
$\Pi(\tau) = \Delta p(\tau)/\Delta p_0$	dimensionslose Wirkdruckschwankung in Abhängigkeit von der dimensionslosen Zeit τ ,
$\delta(\tau) = q_m(\tau)/q_{m, \text{Fehl}}$	dimensionsloser Massenstrom in Abhängigkeit von der dimensionslosen Zeit τ

läßt sich die instationäre Bernoulli-Gleichung auf die Form

$$\Pi(\tau) = \delta^2(\tau) + G \cdot St \cdot \frac{d\delta(\tau)}{d\tau} \quad (1)$$

bringen, wobei G ein geometrischer Parameter und St die Strouhal-Zahl der Strömung ist [6]. Zur weiteren Auswertung wird die dimensionslose Wirkdruckschwankung durch die Fourier-Reihe

$$\Pi(\tau) = 1 + \sum \frac{\Delta p_i}{\Delta p_0} \cos(i2\pi\tau + \varphi_i) \quad \text{mit } i \in [1; 2 \dots] \quad (2)$$

ersetzt. Hierbei sind Δp_i und φ_i die zu der Frequenz f_i gehörenden Amplituden und Phasen der fouriertransformierten Wirkdruckschwankung.

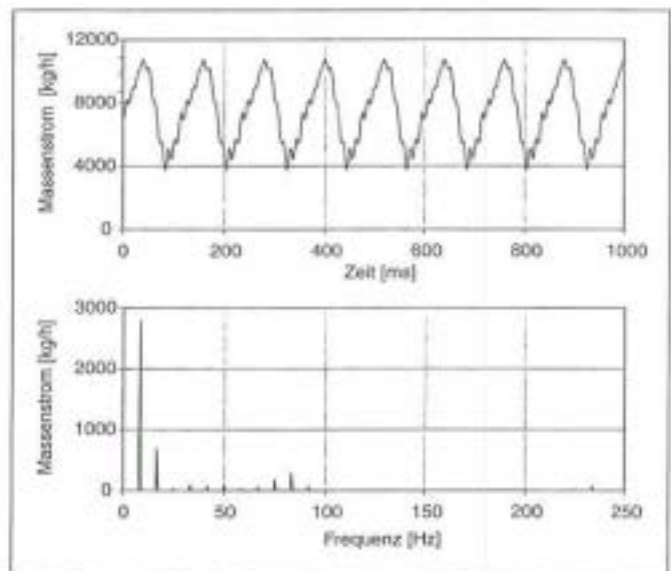


Bild 3. Zeitsignal und Amplitudenspektrum des berechneten, durch die Normblende fließenden Massenstromes (zeitlicher Mittelwert $q_{m, \text{IST}} = 7500$ kg/h).

In Kenntnis der gemessenen Wirkdruckschwankung (Δp_0 , Δp_i , φ_i) sowie der geometrischen Abmessungen und Stoffgrößen kann die gewöhnliche, nichtlineare Differenzialgleichung (1) numerisch integriert werden. Hierzu bietet sich zum Beispiel ein Runge-Kutta-Verfahren an [7]. Als Ergebnis liegt anschließend die dimensionslose Massenstromschwankung $\delta(\tau)$ vor, die durch Multiplikation mit der Bezugsgröße $q_{m, \text{Fehl}}$ in den tatsächlichen Massenstrom $q_m(\tau)$ und mit der Grundfrequenz der Wirkdruckschwankung f_1 in $q_m(t)$ umgerechnet werden kann. Gegenüber dem in [8] vorgestellten Verfahren hat dieses Vorgehen den Vorteil, daß der wahre Massenstrom direkt aus dem tatsächlich anliegenden Wirkdruck, also unter voller Berücksichtigung aller Harmonischen der gemessenen Wirkdruckschwankung, berechnet wird.

Für den gemessenen Wirkdruckverlauf nach Bild 2 ergibt sich auf diese Weise der in Bild 3 dargestellte wahre Massenstromverlauf. Obgleich der Wirkdruck zeitweise negativ ist, bleibt der Massenstrom positiv. Ein Rückströmen des Ethylens tritt demnach nicht ein. Dieser Zusammenhang wird durch die Tatsache begründet, daß die negativen Wirkdrucksignale primär durch die überlagerten höherfrequenten Anteile der Wirkdruckschwankungen verursacht werden. Aufgrund der Trägheitskräfte und der damit verbundenen lokalen Beschleunigungen des Fluids werden die höherfrequenten Wirkdruckschwankungen bereits durch relativ schwache Volumenstrompulsationen bedingt, die wiederum bei einer Überlagerung mit der Grundströmung nicht zu einem Rückströmen des Ethylens führen.

Aus dem Zeitverlauf des Massenstroms ergibt sich durch Integration über eine Periode der zeitliche Mittelwert und damit der wahre Massenstrom $q_{m, \text{IST}} = 7500$ kg/h. Im Vergleich dazu ist der über den zeitlich gemittelten Wirkdruck anhand von [3] berechnete Massenstrom von $q_{m, \text{Fehl}} = 7776$ kg/h um nahezu $E_T = 4\%$ zu groß. Diese Abweichung läßt sich nicht durch die häufig empfohlene zeitliche Mittelung der Quadratwurzel des Wirkdruckes beheben. Zum einen kann aus dem gemessenen negativen Wirkdruck keine sinnvolle Quadrat-

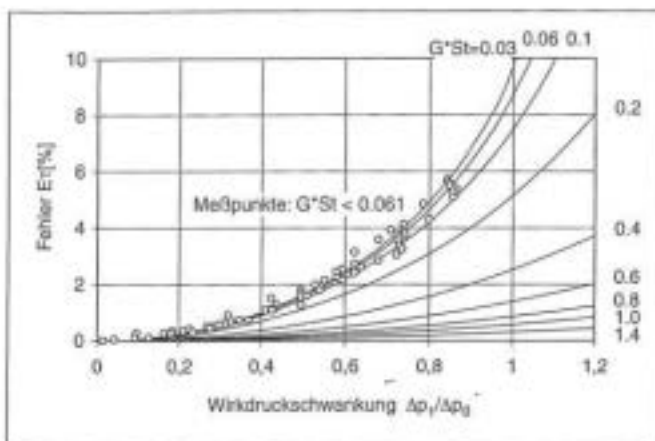


Bild 4. Berechnete und gemessene Meßfehler E_T über der sinusförmigen Wirkdruckschwankung $\Delta p_1/\Delta p_0$ für verschiedene Parameter $G \cdot St$.

wurzel gezogen werden, und zum anderen wäre eine derartige Mittelung der durch die lokalen Beschleunigungen verursachten Wirkdrücke falsch, da diese nicht quadratisch, sondern linear vom Massenstrom abhängen.

Der grundsätzliche Einfluß der Amplitude einer sinusförmigen Wirkdruckschwankung sowie der Parameter G und St auf den Meßfehler

$$E_T [\%] = q_{m,feh1}/q_{m,IST} - 1 \cdot 100 = \delta(\tau)dt - 1 \cdot 100 \quad (3)$$

wird aus *Bild 4* ersichtlich².

Erwartungsgemäß wird der Fehler E_T mit abnehmendem Produkt $G \cdot St$ und zunehmender Amplitude der Wirkdruckschwankung $\Delta p_1/\Delta p_0$ kontinuierlich größer. Zum Vergleich sind einige Meßergebnisse aus [9] für $G \cdot St < 0,061$ mit dargestellt. Es zeigt sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung.

3.2 Einfluß der Wirkdruckleitungen

Der an den Druckentnahmestellen anliegende Absolutdruck wird durch die Wirkdruckleitungen zum Differenzdruckgeber weitergeleitet. Bei einem störungsfreien, stationären Betrieb der Meßeinrichtung werden die Wirkdruckleitungen nicht durchströmt. Demhingegen kann es zu instationären Strömungsvorgängen innerhalb der Wirkdruckleitungen und damit auch zu Meßfehlern kommen, sofern durch Druckpulsationen oder Strömungsrauschen Gassäulenschwingungen (akustische Resonanzen) in den Wirkdruckleitungen angeregt werden.

Als Beispiel für eine derartige Schwingung sind in *Bild 5* die Amplitudenspektren der Differenzdrucksignale dargestellt, die zum einen unmittelbar an einer Meßeinrichtung (obere Abbildung) und zum anderen am entfernt gelegenen Differenzdrucktransmitter gemessen wurden (untere Abbildung). Bei der Meßeinrichtung handelt es sich im vorliegen-

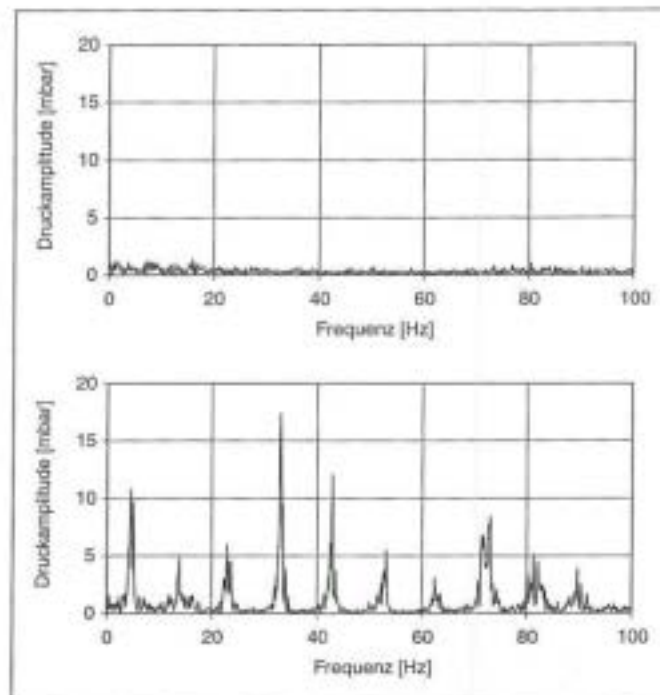


Bild 5. Amplitudenspektren des ohne (Bild oben) und mit langen Wirkdruckleitungen (Bild unten) gemessenen Wirkdruckes.

den Fall um eine Annubar-Sonde, die in einer von Erdgas durchströmten Rohrleitung (Druck $p = 60$ bar, Temperatur $T = 60$ °C) stromab eines Radialverdichters installiert ist.

Während der gemessene Differenzdruck unmittelbar an der Meßeinrichtung keinen auffälligen zeitlichen Schwankungen unterliegt, sind am Ende der 21,3 m langen Wirkdruckleitungen deutliche Druckpulsationen im Differenzdrucksignal vorhanden. Die Frequenzen dieser Pulsationen stimmen mit den akustischen Eigenfrequenzen der Wirkdruckleitungen überein. So ergibt sich die erste akustische Resonanzfrequenz anhand der Länge der Wirkdruckleitungen und der Schallgeschwindigkeit von 400 m/s zu 4,7 Hz ($\lambda/4$ -Resonator). Die weiteren Resonanzfrequenzen der Gassäule innerhalb der Wirkdruckleitungen liegen bei 14 Hz ($3/4 \lambda$), 23,5 Hz ($1 1/4 \lambda$), 32,9 Hz ($1 3/4 \lambda$), 42,3 Hz ($2 1/4 \lambda$) etc. Aus *Bild 5* wird deutlich, daß genau bei diesen Frequenzen am Ort des Differenzdruckgebers resonant überhöhte Druckamplituden vorhanden sind.

Diese akustischen Resonanzen können auf unterschiedliche Weise zu Meßfehlern führen. Zum einen dürfen die Druckschwankungen nicht – anhand des oben vorgestellten Verfahrens – in Volumenstromschwankungen umgerechnet werden, da sonst primär die Quadratwurzel der niederfrequenten Druckpulsation gemittelt würde. Zur Kompensation der akustischen Resonanzen ist aber eher eine lineare zeitliche Mittelung des Differenzdrucksignals angebracht. Zum anderen können die Resonanzen zu einer Veränderung des zeitlich gemittelten Drucks entlang der Wirkdruckleitungen führen. Diese Verteilung des zeitlich gemittelten Drucks entlang der Wirkdruckleitungen kann zum Beispiel dadurch verursacht werden, daß der Strömungswiderstand beim Einströmen in die Wirkdruckleitungen nicht gleich dem Wert beim Ausströmen ist, oder nicht-linear dämpfende Bauelemente in den Wirkdruckleitungen

² Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der Meßfehler E_T nach Gl. (3) für eine dimensionslose Wirkdruckschwankung $\Pi(\tau)$ nur bei konstantem Produkt $G \cdot St$ einen konstanten Wert annimmt (vgl. Gl. (1)). Eine Auftragung des Fehlers E_T lediglich über der Strouhal-Zahl St für verschiedene Wirkdruckschwankungen Π ist demnach nicht zu empfehlen.

Sofern sich bei dieser Messung effektive Wirkdruckschwankungen von

$$\Delta p_{\text{eff}}/\Delta p_0 < 0,1 \quad (4)$$

ergeben, sind Meßfehler infolge pulsierender Volumenströme nicht zu erwarten [11] (Bild 4). Anderenfalls sollten die Meßfehler E_T mit dem hier skizzierten und in [2] ausgeführten Verfahren berechnet werden. Ist eine Zuordnung der festgestellten Wirkdruckschwankungen zu den Anlagen- und Betriebsbedingungen eindeutig und reproduzierbar möglich, können die einmal berechneten Meßfehler E_T anschließend für eine Korrektur der unter Annahme stationärer Strömungsverhältnisse ermittelten, fehlerbehafteten Massenströme herangezogen werden (Korrektur nach Tabelle). Falls diese eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, könnte der Wirkdruck kontinuierlich mit einem schnellen Differenzdruckgeber gemessen und „online“ der jeweils aktuelle Korrekturfaktor E_T berechnet werden („Online“-Korrektur).

Grundsätzlich ist es einer Korrektur jedoch vorzuziehen, die Ursache für die festgestellten Pulsationen zu bestimmen. In Kenntnis der Wirkungsmechanismen können zum Teil überraschend kostengünstige Minderungsmaßnahmen realisiert (z. B. durch den Einsatz von Pulsations-Dämpferplatten [12]) und auf diese Weise die Meßgenauigkeit erheblich verbessert werden.

Im zweiten Schritt ist der Einfluß der vorhandenen Wirkdruckleitungen und des benutzten Differenzdruckgebers zu überprüfen. Hierzu bietet es sich an, zunächst den unmittelbar am Drosselgerät gemessenen, zeitlich gemittelten Wirkdruck mit dem vom installierten Differenzdruckgeber ausgegebenen Mittelwert zu vergleichen. Sind störende Abweichungen vorhanden, deutet das auf akustische Resonanzen innerhalb der Wirkdruckleitungen hin. Die Wirkdruckleitungen sind in diesem Fall zu kürzen, wobei die in Kapitel 3.2 genannten Hinweise zu beachten sind. Insbesondere in Verbindung mit einer „online“-Korrektur sind die maximal zulässigen Längen der Wirkdruckleitungen sehr genau auf die im Einzelfall vorliegenden Erfordernisse abzustimmen.

Literatur

- [1] Hebrard, P.; Bisco, Y.; Gajan, P. and Ploter, B.: An investigation of the behaviour of orifice meter in pulsation flow conditions. International conference on flow measurement in Melbourne, Australia, (1985), p. 223-230.
- [2] Brümmer, A.: Der Einfluß von Volumenstrompulsationen auf die Meßgenauigkeit von Turbinenradzählern. GASWÄRME International 47 (1998), H. 11, S. 619-623.
- [3] N. N.: Durchflußmessung von Fluiden mit Drosselgeräten. Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt. DIN EN ISO 5167-1 (1995) und DIN EN ISO 5167-1/A1 (1998).
- [4] Morrow, J. B. and Behring, K. A.: Effects of swirl and velocity profile asymmetry on flow conditioner performance for orifice meters. In: Proceedings of the 9th international conference on flow measurement, FLOMEKO'98 in Lund, Sweden, (1998), p. 429-434.
- [5] Truckenbrodt, E.: Fluidmechanik. Band 1: Grundlagen und elementare Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide. 3. überarbeitete Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1989.
- [6] Brümmer, A.: Gasmengenmeßfehler und deren Ursache am Beispiel der Wirkdruckverfahren. Erdöl, Erdgas, Kohle 114 (1998), H. 11, S. 552-557.
- [7] Meyberg, K. und Vachenauer, P.: Höhere Mathematik 2. Differentialgleichungen, Funktionentheorie, Fourier-Analyse, Variationsrechnung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1991.
- [8] N. N.: Measurement of pulsating fluid flow in a pipe by means of orifice plates, nozzles or Venturi tubes. Technical Report ISO/TR 3313, (1992) (E); ersetzt durch ISO/TR 3313, (1998), (in Vorbereitung).
- [9] Downing, P. M. and Mottram, R. C.: The effects of flow pulsations on orifice plate flow meters. Symposium on fluid flow measurements 1970, National Engineering Laboratory, east Kilbride, 1985.
- [10] Sparks, C. R.; Durke, R. D. and McKee, R. J.: Pulsation-induced errors in the primary and secondary systems of orifice meters. VDI Bericht Nr. 768, (1989).
- [11] Studzinski, W.; Karnik, U.; Geerligs, J. and McBrien, R.: Pulsation effects on orifice meter performance. In: Proceedings of the 9th international conference on flow measurement, FLOMEKO '98 in Lund, Sweden, (1998), p. 417-422.
- [12] Klein, M. und Hansen, G.: Pulsations- und Schwingungsminderung durch spezielle Einbauten in Rohrleitungen. 3R international 36 (1997), H. 4/5, S. 210-216.

(Manuskripteingang: 15.2.1999)

Buchbesprechungen

Hausschornsteine – Funktion, Bauausführung, Instandhaltung. Von O.-E. Fischer und G. Schoppenhauer. 1996. 323 Seiten mit zahlreichen Abbildungen und Diagrammen. Format 17 x 24 cm. Gebunden DM 128,-, ISBN 3-7625-3192-7.

Die fortschreitende technische Weiterentwicklung von Feuerungsanlagen bedingt immer modernere Schornsteinsysteme, denen besonders im Sinne eines rationellen Energieeinsatzes und der Begrenzung von Abgasverlusten und Schadstoffemissionen wachsende Bedeutung zukommt.

In „Hausschornsteine“ werden nach einer Einführung in die Grundlagen der Verbrennungstechnik und die Brenn-

stoffarten die unterschiedlichen Schornstein- und Abgassysteme mit ihren Besonderheiten vorgestellt. Die Beschreibung von zulässigen Baustoffen und Fertigteilen sowie die Baukonstruktion und -ausführung nimmt breiten Raum ein, wobei auf die einschlägigen Normen und Richtlinien Bezug genommen wird. Berücksichtigt sind nicht allein Neubauten, sondern vor allem auch der Bereich der Schornsteinsanierung bei Altbauten. Der kompetente Ratgeber für Ausbildung und Praxis schließt mit Hinweisen zu Wartung und Instandhaltung sowie zu Gesundheits- und Arbeitsschutz.