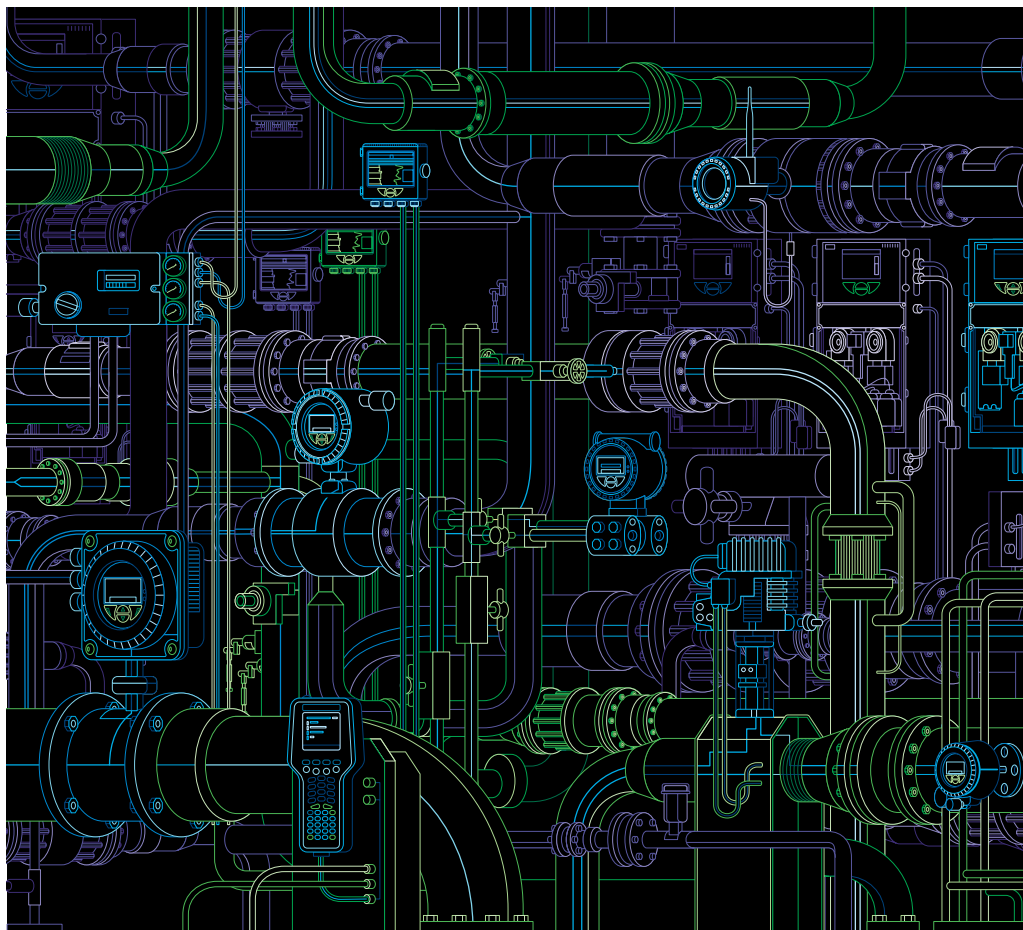




Industrielle Durchfluss-Messtechnik Grundlagen und Praxis

Power and productivity
for a better world™



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Die Übersetzung, sowie die Vervielfältigung und Verbreitung, in jeglicher Form – auch als Bearbeitung oder in Auszügen –, insbesondere als Nachdruck, photomechanische oder elektronische Wiedergabe oder in Form der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen oder Datennetzen ohne Genehmigung des Rechteinhabers sind untersagt und werden zivil- und strafrechtlich verfolgt.

Der Herausgeber und das Autorenteam bitten um Verständnis, dass bei der großen Menge der aufgeführten Daten keine Gewähr für die Richtigkeit übernommen werden kann.

Im Zweifelsfall gelten die angegebenen Originaldokumente, Richtlinien und Normen.

© 2010 ABB Automation Products GmbH

Industrielle Durchfluss-Messtechnik Grundlagen und Praxis

Autoren:

F. Frenzel, H. Grothey, C. Habersetzer, M. Hiatt,
W. Hogrefe, M. Kirchner, G. Lütkepohl, W. Marchewka,
U. Mecke, M. Ohm, F. Otto, K.-H. Rackebrandt,
D. Sievert, A. Thöne, H.-J. Wegener, F. Buhl, C. Koch,
L. Deppe, E. Horlebein, A. Schüssler, U. Pohl,
B. Jung, H. Lawrence, F. Lohrengel, G. Rasche, S. Pagano,
A. Kaiser, T. Mutongo

ABB Automation Products GmbH

Vorwort

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die Märkte für die Produkte der verfahrenstechnischen Industrie stark verändert. Die Produktion von Massenprodukten hat sich geographisch an die Orte verlagert, in denen Rohstoffe preisgünstig zur Verfügung stehen. Der Wettbewerbsdruck zwingt die Verfahrenstechnik zur Spezialisierung aber auch zur Anpassungsfähigkeit gegenüber Produktänderungen nach Kundenwunsch. Die Anlagen sind so konzipiert, dass Wirtschaftlichkeitsdaten, wie z. B. Rohstoffkennwerte, Rohstoffpreise, Chargengröße, kurzfristig in den Ablauf einfließen können. Dabei ist ein wichtiger Gesichtspunkt die Sicherung, beziehungsweise die Verbesserung, der Qualität.

Der Betrieb solcher Anlagen erfordert einen hohen Grad an Automatisierung. Mit Hilfe der Prozesstechnik kann man die Abläufe so steuern, dass eine Optimierung bei geringem Personaleinsatz möglich wird. Die Prozessleittechnik stellt zudem sicher, dass Prozessabläufe dokumentiert werden und so die Qualität des Produkts nachweisbar bleibt.

Die wichtigste Voraussetzung für die Automatisierung sind die aktuellen Prozessdaten, die durch Messgeräte erfasst werden. Wenn die vom Messwert abhängigen Aktionen die genannten Forderungen erfüllen sollen, müssen diese Angaben natürlich qualitativ hochwertig sein. Deshalb fordert man von einem Messgerät:

- hohe Genauigkeit
- überschaubare Funktion
- einfache Bedienung und Wartung
- Überprüfbarkeit auch ohne Prüfstand
- Eigenüberwachung
- Fehlersignalisierung / Eigendiagnose
- Kommunikationsfähigkeit

Der Planer einer verfahrenstechnischen Anlage setzt voraus, dass die messtechnischen Fehlergrenzen erfüllt sind. Nicht immer kann er sich von den Problemen freimachen, die die Messstelle mitbringt.

Mit diesem Handbuch der industriellen Durchfluss-Messtechnik möchten wir den Praktiker bei der Lösung seiner vielfältigen Aufgaben unterstützen. Gleichzeitig soll es dem interessierten Neueinsteiger die wichtigsten Grundlagen der Messprinzipien und deren Einsatzgrenzen in anschaulicher Form vermitteln.

Modernste Entwicklungen, unterstützt durch ein Netzwerk von global organisierten ABB-Forschungszentren, stellen innovative Produkte und Lösungen sicher. Leistungsfähige Produktionsstätten und engagierte Mitarbeiter produzieren nach neuesten Methoden und Fertigungsverfahren. Kompetente und freundliche Beratung in Verkauf und Service runden das ABB-Angebot ab.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen und viel Erfolg bei der praktischen Nutzung des Handbuchs. Bedanken wollen wir uns bei allen Autoren, die zur Erstellung dieses Buches beigetragen haben. Außerdem freuen wir uns auf Ihre Anregungen und Kommentare, die wir gerne entgegennehmen und in neue technologische Lösungen einfließen lassen.

„Power and Productivity for a better world“

Formelzeichen

A	Fläche, Querschnitt (mm^2 , m^2)
B	magnetische Flussdichte, Induktion (T)
b	Breite (mm, m)
C	Durchflusskoeffizient (1)
c	Widerstandsbeiwert (1) (siehe magnetisch-induktive Durchflussmesser)
c	Schallgeschwindigkeit (m/s)
c	spezifische Wärmekapazität ($\text{J/K} \cdot \text{kg}$)
D, d	Durchmesser (mm, m)
E	Vorgeschwindigkeitsfaktor (1) (siehe Wirkdruckmessung)
E	Energie (J, kWh)
e	Energiehöhe (als Niveauhöhe ausgedrückte kinetische Energie) (m)
F	Kraft (N, $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$)
f	Frequenz (s^{-1})
g	Fallbeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$
H	Energiehöhe (als Niveauhöhe ausgedrückte kinetische Energie) (m)
h	Höhe, Höhenstand, Niveau (mm, m)
J	elektrische Stromstärke (A)
k	Wandrauheit (mm)
l	Länge (mm, m)
m	Masse (g, kg)
m	Öffnungsverhältnis d^2/D^2 (1) (siehe Wirkdruckmessung)
p	Druck (Pa, bar), P_{dyn} = dynamischer Druck
Δp	Druckdifferenz, Wirkdruck (Pa, bar)
q_m	Massestrom, Massedurchfluss (g/s, kg/h)
q_Q	Wärmestrom (J/s)
q_v	Volumenstrom, Volumendurchfluss (l/s, m^3/h)
T	Temperatur (K, °C)
T	Zeitkonstante (s)

t	Zeit (s)
U	elektrische Spannung (V)
V	Volumen (mm ³ , m ³ , l)
v	Geschwindigkeit (m/s)
W	Wertigkeit (1) (siehe magnetisch-induktive Durchflussmesser)
β	Durchflussmesserverhältnis d/D ; $\beta < 1$ (siehe Wirkdruckmessung)
γ	thermischer Volumenausdehnungskoeffizient (K ⁻¹)
Δ	Differenz, spez. Druckdifferenz Δp
ε	Expansionszahl (1)
η	dynamische Viskosität (Pa · s)
χ	elektrische Leitfähigkeit (S/cm)
λ	Widerstandsbeiwert, Reibungskoeffizient (1) (siehe Freispiegelmessung)
μ	Überfallkoeffizient (1) (siehe Messwehr)
ν	kinematische Viskosität (m ² /s)
ρ	Dichte (kg/m ³ , g/cm ³)
Φ	magnetischer Fluss (Wb, Vs)
ω	Winkelgeschwindigkeit (s ⁻¹)
Fr	Froudesche Zahl (1)
Re	Reynoldsche Zahl (1)
St	Strouhal-Zahl (1)
VUZ	Viskositäts-Unabhängigkeits-Zahl (1)

1	Einführung in die Physik der Durchfluss- und Mengenmessung	13
1.1	Messgrößen	13
1.2	Begriffe aus der Strömungslehre	15
1.2.1	Viskosität	15
1.2.2	Reynoldssche Zahl	15
1.2.3	Strömungsarten	16
1.2.4	Strömungsablösungen	17
1.2.5	Energiegleichung und Durchfluss	19
1.2.6	Hydraulik der Gerinne	23
2	Durchfluss- und Mengenmessung für Gase und Flüssigkeiten	29
2.1	Volumenzähler	30
2.1.1	Ovalradzähler	30
2.1.2	Ringkolbenzähler	33
2.1.3	Drehkolben-Gaszähler	36
2.1.4	Turbinenzähler	38
2.1.5	Wirbel-Durchflussmesser	45
2.1.6	Drall-Durchflussmesser	57
2.2	Durchflussmesser	67
2.2.1	Durchflussmesser nach dem Wirkdruck-Messverfahren	67
2.2.2	Kompaktblenden-Durchflussmesser	78
2.2.3	Wedgometer für kritische Anwendungen	79
2.2.4	Durchflussmesser nach dem Staudruckverfahren	82
2.2.5	Schwebekörper-Durchflussmesser	85
2.2.6	Magnetisch-induktive Durchflussmesser	102
2.2.7	Ultraschall-Durchflussmesser	137
2.2.8	Coriolis Masse-Durchflussmesser	140
2.2.9	Thermische Masse-Durchflussmesser für Gase	151
2.3	Durchfluss in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen	157
2.3.1	Durchflussmessung in offenen Gerinnen	157
2.3.2	Durchflussmessung in Freispiegelleitungen	165
3	Vorschriften und Forderungen zu Qualität, Umwelt, Sicherheit und Datenschutz	173
3.1	Integriertes Managementsystem	173
3.2	Schutzarten nach EN 60529 (Auszüge aus dem Normblatt)	176
3.3	Anforderungen zur Störfestigkeit (EMV)	179
3.4	Explosionsschutz	182
3.4.1	Internationale Aufstellung des Explosionsschutzes	183
3.4.2	Begriffsdefinitionen	184
3.4.3	Zündschutzarten in Europa und in Nordamerika	191
3.4.4	Zulassungen gemäß FM Approval Standards	196
3.4.5	Zulassungen gemäß CSA-Standards	196
3.4.6	Explosionsschutz elektrische Geräte im freien Warenverkehr	197

3.4.7	Kennzeichnung von Betriebsmitteln	197
3.5	GOST- Zulassungen für die Durchflussmesstechnik	199
3.5.1	Russland	199
3.5.2	Weißrussland, Ukraine und Kasachstan	205
3.6	SIL - Funktionale Sicherheit	207
3.7	Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG	209
3.8	Korrosion	213
3.9	Datenübertragung	214
3.9.1	Pneumatisches Einheitssignal	214
3.9.2	Analoges elektrisches Einheitssignal	215
3.9.3	Schaltende Ausgänge	215
3.9.4	HART-Protokoll	216
3.9.5	Fieldbus in der Prozessautomatisierung	218
3.9.6	FOUNDATION Fieldbus	220
3.10	Kalibrierung und Eichung	221
3.10.1	Warum wird kalibriert?	221
3.10.2	Begriffe und Definitionen	221
3.10.3	Methoden der Durchflussskalibrierung	222
3.10.4	Prüfstand für Flüssigkeitsdurchfluss	223
3.10.5	Prüfstand für Gasdurchfluss	225
3.10.6	Zulassungen der Prüfstände und Produkte	227
3.10.7	Möglichkeiten der Kalibrierung bei ABB	233
3.10.8	Messgeräte richtlinie (MID)	236
3.10.9	OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale)	237
4	Kriterien für die Geräteauswahl	239
4.1	Durchflussmesser für die geschlossene Rohrleitung	240
4.1.1	Einfluss der Eigenschaften des Messmediums	244
4.1.2	Strömungstechnische Einflüsse	248
4.1.3	Einsatzbereiche und technische Grenzwerte	252
4.1.4	Leistungsvermögen und Eigenschaften der Messgeräte	256
4.1.5	Montage und Wartung	262
4.2	Geräte für Gerinne und Freispiegleitung	266
4.2.1	Feststoffe im Messmedium	267
4.2.2	Gasanteile	267
4.2.3	Strömungstechnische Einflüsse	268
5	Markante Merkmale der Messgeräte im Überblick	273
5.1	Ovalradzähler, Ringkolbenzähler	273
5.2	Drehkolbenzähler	273
5.3	Turbinenzähler	274
5.4	Wirbel-Durchflussmesser	274
5.5	Drall-Durchflussmesser	275
5.6	Wirkdruck-Messverfahren	275
5.7	Schwebekörper-Durchflussmesser	276
5.8	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	276

5.9	Ultraschall-Durchflussmesser	277
5.10	Coriolis Masse-Durchflussmesser	278
5.11	Thermischer Masse-Durchflussmesser	278
5.12	Messwehr	279
5.13	Venturi-Kanal	279
5.14	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser im Düker	280
5.15	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser FXP4000 für teilgefüllte Rohrleitungen	280
6	Stichworte zu Betriebsbedingungen und Anforderungen an die Messstelle	281
7	Normen und Regelwerke	283
8	Werkstoffe, Beständigkeitstabelle	285
9	Literaturverzeichnis	293

1 Einführung in die Physik der Durchfluss- und Mengenmessung

1.1 Messgrößen

Die Messtechnik schafft die Voraussetzungen für die Optimierung von Produktionsabläufen und Dosiervorgängen. Neben der Druck- und Temperaturmessung gehört die Durchflussmessung zu den wichtigsten Messgrößen. Erst die quantitative Ermittlung von Mengen, Volumina und Durchflüssen gestattet die Beeinflussung der Produktionsprozesse durch Steuerungen und Regelungen.

Die wichtigsten Basisgrößen sind Masse und Volumen:

Masse mit dem Formelzeichen m gemessen in kg oder g

Volumen mit dem Formelzeichen V gemessen in m^3 , dm^3 oder cm^3

Als Quotient aus Masse und Volumen gibt die Dichte die Beziehungen der beiden Größen an:

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} : \rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

Da die meisten Produktionsanlagen kontinuierlich arbeiten, werden Messwerte gefordert, die den augenblicklichen Zustand oder den Momentanwert angeben. Deshalb ist eine zeitabhängige Größe erforderlich, nämlich der Durchfluss. Bezogen auf die beiden Basisgrößen Masse und Volumen unterscheidet man den Massedurchfluss q_m und den Volumendurchfluss q_v :

$$\text{Massedurchfluss} = \frac{\text{Masse}}{\text{Zeit}} : q_m = \frac{m}{t} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}, \frac{\text{g}}{\text{s}}, \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Volumendurchfluss} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Zeit}} : q_v = \frac{V}{t} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}, \frac{\text{l}}{\text{s}}, \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Wegen der Unabhängigkeit von Druck und Temperatur ist die Masse-Durchflussmessung die ideale Methode, während die Volumen-Durchflussmessung in der Regel gerätetechnisch günstiger ist und deshalb bevorzugt wird.

Die Volumina der inkompressiblen Flüssigkeiten werden in den üblichen Druckbereichen vom Druck selbst nicht fühlbar beeinflusst. Wenn dagegen die Temperatur wechselt, kommt es zur Volumenänderung, die unter Umständen Korrekturrechnungen erfordert.

Das korrigierte Volumen V_2 ist dann:

$$V_2 = V_1 (1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad (1.1)$$

$\gamma [K^{-1}]$: Thermischer Volumen-Ausdehnungskoeffizient

$T [K]$: (spez. Stoffkonstante) Temperatur

Heute sind die Durchflussmesser mit Verstärkern ausgerüstet, die derartige Korrekturrechnungen für den Durchfluss analog zu V_2 durchführen. Erheblich größer sind die Einflüsse von Druck und Temperatur bei der Gasmessung. Deshalb werden die Messwerte meistens auf dem Normzustand bezogen, nämlich auf $p_n = 101325 \text{ Pa}$ oder $1,01325 \text{ bar}$ und $T_n = 273 \text{ K}$.

Das Normvolumen V_n ist dann:

$$V_n = V \cdot \frac{273}{273 + T} \cdot \frac{1,013 + p}{1,013} \quad (1.2)$$

V = Betriebsvolumen in m^3

T = Betriebstemperatur in $^{\circ}C$

p = Betriebsdruck in bar

Selbstverständlich können derartige Umrechnungen, bezogen auf den Volumendurchfluss im Normzustand $(q_v)_n$, in entsprechenden Recheneinrichtungen durchgeführt werden.

Der Durchfluss als zeitbezogene Größe meldet den Augenblickszustand in der Rohrleitung. Er ist keine Aussage über die Masse oder das Volumen, d. h. über die Gesamtmenge. Um diesen Wert zu ermitteln, bedarf es der Integration:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} q_v \cdot dt \quad (1.3a)$$

oder

$$m = \int_{t_1}^{t_2} q_m \cdot dt \quad (1.3b)$$

Der Durchfluss vollzieht sich in der Gegenwart, während Volumen oder Masse die Vergangenheit darstellen.

1.2 Begriffe aus der Strömungslehre

1.2.1 Viskosität

Die Viskosität oder Zähigkeit einer Flüssigkeit kennzeichnet deren Vermögen, gegen Formänderungen Widerstand zu leisten. Die Ursache dafür ist die innere Reibung in der Flüssigkeit als Folge der Kraftwirkung zwischen den Molekülen. Da die Molekularbewegungen ein Temperaturkriterium darstellen, ist die Viskosität temperaturabhängig. Die dynamische Viskosität η in Pa.s ist folgendermaßen definiert: 1 Pascalsekunde ist gleich der dynamischen Viskosität eines laminar strömenden, homogenen Fluids, in dem zwischen zwei Ebenen, parallel im Abstand 1 m angeordneten Schichten mit dem Geschwindigkeitsunterschied 1 m/s die Schubspannung 1 Pa herrscht.

Die kinematische Viskosität ν wird auch als dichtebezogene Viskosität bezeichnet und in m^2/s gemessen:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] \quad (1.4)$$

Die Stoffeigenschaft Viskosität gibt es natürlich auch bei Gasen. Die Werte sind erheblich kleiner als bei Flüssigkeiten, sie steigen mit der Temperatur.

1.2.2 Reynoldssche Zahl

Die Reynoldssche Zahl Re ist eine Kennzahl der Ähnlichkeitsmechanik. Sie ermöglicht es, die mit einer bestimmten strömenden Flüssigkeit erzielten Messergebnisse auf Flüssigkeiten anderer Zähigkeit und Dichte bei ähnlichen geometrischen Verhältnissen zu übertragen:

$$Re = \frac{d \cdot v}{\nu} [1] \quad (1.5)$$

d: Rohrdurchmesser in m

v: mittlere Fließgeschwindigkeit in m/s:

ν : kinematische Zähigkeit in m^2/s

1.2.3 Strömungsarten

Bei kleiner Fließgeschwindigkeit und großer Viskosität strömt die Flüssigkeit schichtförmig, das heißt, dass sich die Flüssigkeitsteilchen auf wohl geordneten, nebeneinander hergleitenden, Schichten bewegen. Man spricht von laminarer Strömung, in der sich die Schichten nicht miteinander vermischen.

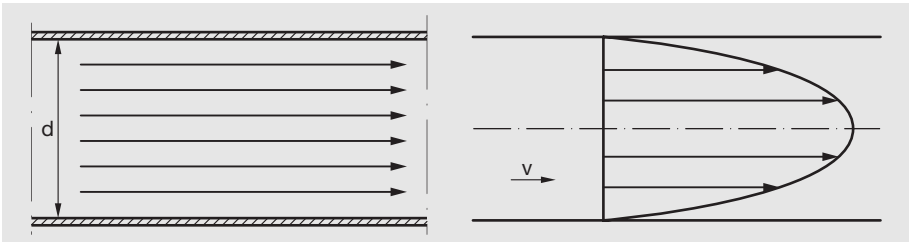


Bild 1-1: Laminare Strömung

Geschwindigkeitsprofil

Die Geschwindigkeitsverteilung zeigt, dass die Reibungskräfte der ruhenden Rohrwand den stärksten bremsenden Einfluss ausüben und dass von Schicht zu Schicht die Geschwindigkeit wächst und in der Rohrmitte den größten Wert erreicht.

Wird die Fließgeschwindigkeit erhöht oder die Viskosität herabgesetzt, so überlagert sich die axial gerichtete Bewegung an allen Stellen mit Zusatzbewegungen, die regellos verlaufen und die Strombahnen gegenseitig beeinflussen, so dass ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil entsteht. Das ist die turbulente Strömung. In der wandnahen Zone bildet sich eine Grenzschicht, in der die Flüssigkeit von null auf v beschleunigt werden muss, weil sie durch Adhäsion an der Wand haftet. Deshalb ist das Geschwindigkeitsprofil außen unstetig.

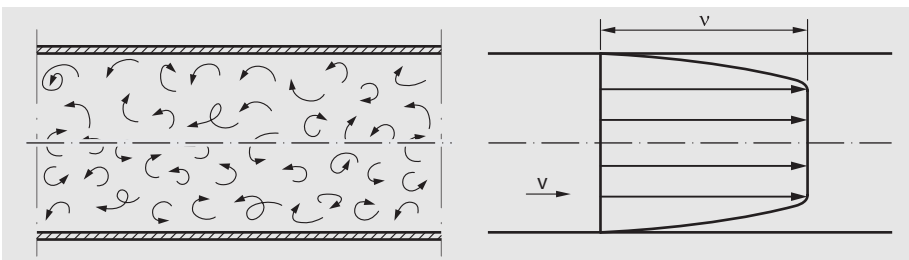


Bild 1-2: Turbulente Strömung

Geschwindigkeitsprofil

Als Beurteilungskriterien für die Strömungsart dient die Reynoldssche Zahl Re , denn sie enthält die entscheidenden Faktoren v und ν .

Die kritische Reynoldssche Zahl Re_{Kr} gibt mit einer guten Genauigkeit den Umschlagpunkt an:

$$Re_{Kr} \sim 2300$$

Eigenschaft der Strömung	Re < 2300	Re > 2300
Strömungsart	laminar	turbulent
Druckverlust in Leitung, Messgerät	klein	erheblich
Geschwindigkeitsprofil	parabolisch	annähernd rechteckig
Verhältnis des Mittelwertes der Strömungsgeschwindigkeit zur größten Geschwindigkeit in der Rohrmitte	0,5	0,8...0,9

Tab. 1-1: Strömungseinflüsse

Unter idealen Verhältnissen kann der Umschlagpunkt bei einem höheren Re-Wert liegen. Dieser dann eintretende labile Zustand schlägt bei geringstem Anlass, z. B. durch Strömungsstörer, in den stabilen turbulenten Zustand um.

Fast alle Messgeräte für Durchfluss arbeiten mit Fließgeschwindigkeiten, die im Bereich der turbulenten Strömung liegen.

1.2.4 Strömungsablösungen

Wie bereits erwähnt, entsteht an der strömungsbegrenzenden Wand eine Grenzschicht, in der die Fließgeschwindigkeit von null auf v ansteigt. Ein erhabenes Hindernis in der Wand verlängert die Grenzschichtzone und verzögert die wandnahe Flüssigkeit noch stärker, so dass hinter dem Hindernis ein Totraum mit einem leichten Unterdruck entsteht. Aus dem Raum mit der höheren Geschwindigkeit strömt die Flüssigkeit in diesen Totraum, es bilden sich Wirbel.

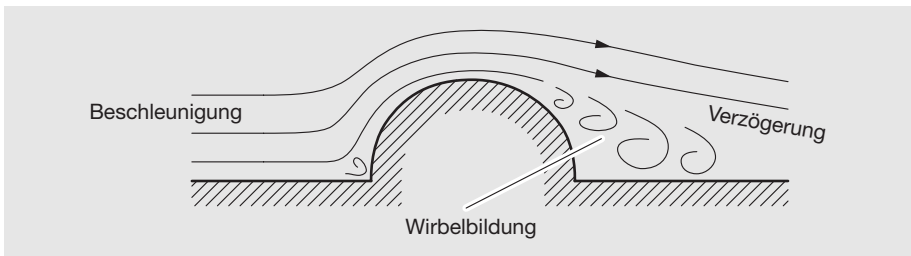


Bild 1-3: Totraum mit Wirbelbildung

Die Strömung löst sich von der Wandoberfläche ab. Beispielhafte Darstellungen dazu in Bild 1-4 und Bild 1-5. In der Messtechnik sind Wirbel unerwünscht, weil sie Energie benötigen, die sie dem strömenden Stoff entnehmen und somit Druckverluste verursachen. Außerdem verändern sich die Geschwindigkeitsprofile so stark, dass viele Durchflussmessverfahren nicht funktionieren.

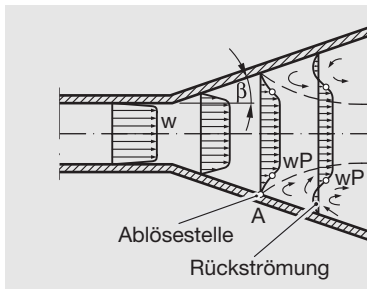


Bild 1-4: Strömungsablösungen und Strömungsprofile bei stetiger Erweiterung

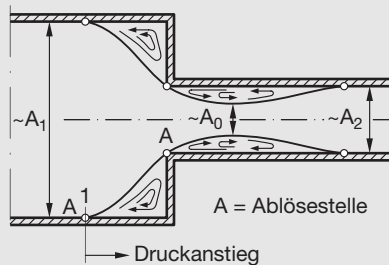


Bild 1-5: Strömungsablösung und Strömungsprofile bei unstetiger Verengung

In Bild 1-6 und Bild 1-7 wird beispielhaft dargestellt, wie sich die Strömungsprofile nach Rohrleitungsstörungen ausbilden.

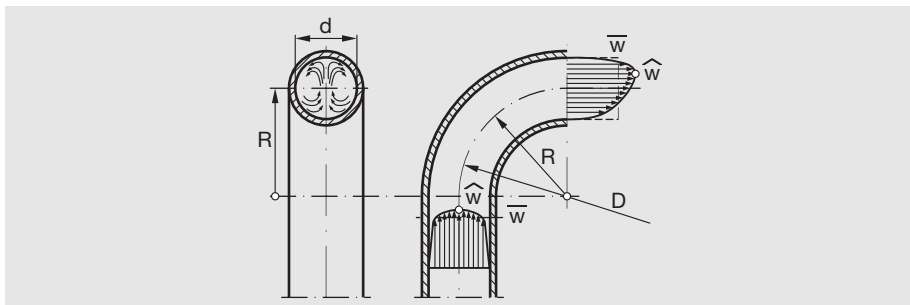


Bild 1-6: Strömungsablösungen und Strömungsprofil im gekrümmten Rohr

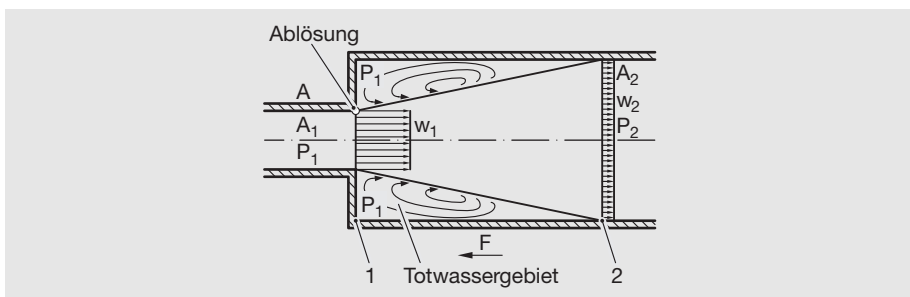


Bild 1-7: Strömungsablösung und Strömungsprofile bei unstetiger Erweiterung

Wird ein Störkörper mitten in den Mediumstrom gebracht, so entsteht die Strömungsablösung und die Wirbelbildung beidseitig. Dabei ist es interessant, dass nach der einseitigen Ausbildung eines Wirbels auf der Gegenseite ein gleicher entsteht, der den ersten zur Ablösung zwingt.

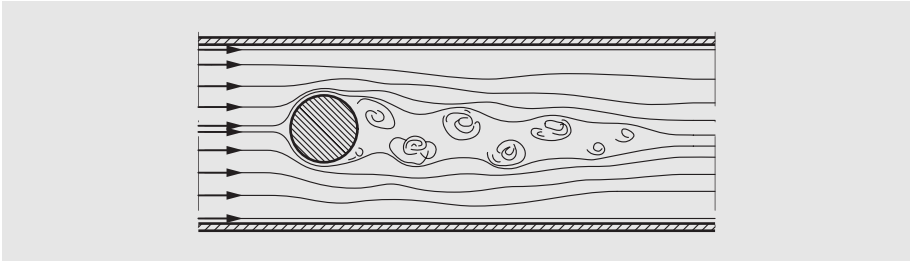


Bild 1-8: Karmansche Wirbelstraße

So entstehen in periodischer Folge wechselseitig abströmende Wirbel in der nach seinem Entdecker Karman benannten Wirbelstraße. Die sonst unerwünschten Wirbel werden im Wirbel-Durchflussmesser als Messeffekt genutzt.

1.2.5 Energiegleichung und Durchfluss

In einem strömenden flüssigen oder gasförmigen Medium wirken folgende Energieformen:

potenzielle Energie < $\begin{matrix} \text{Energie der Lage} \\ \text{Druckenergie} \end{matrix}$
 kinetische Energie

(Weitere Energieformen, z. B. elektrische, chemische, sind an dieser Stelle bedeutungslos).

Es sind:

Energie der Lage:

$$m \cdot g \cdot h$$

m = Masse

g = Fallgeschwindigkeit

h = Höhe

Druckenergie:

$$m \cdot \frac{p}{\rho}$$

p = statischer Druck

ρ = Dichte

Kinetische Energie:

$$m \cdot \frac{v^2}{2}$$

v = Fließgeschwindigkeit

Ihre Summe ist dann:

$$E = m \cdot g \cdot h + m \cdot \frac{p}{\rho} + m \cdot \frac{v^2}{2} \quad (1.6)$$

In seinem Energieerhaltungssatz sagt Bernoulli, dass die Summe der Energien an jedem Ort des Strömungsweges konstant ist (bei den kompressiblen Gasen muss die Expansion berücksichtigt werden), wenn nicht Energie zu- oder abgeführt wird. Bezogen auf den Massestrom q_m ergibt sich:

$$g \cdot h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstant} \quad (1.7)$$

Ausgehend davon, dass die Lageenergie wegen der relativ geringen Niveauunterschiede in Rohrleitungen bedeutungslos ist, vereinfacht sich diese Formel:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstant} \quad (1.8)$$

Oder beim Vergleich von zwei Bezugspunkten (Bild 1-9):

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \quad (1.9)$$

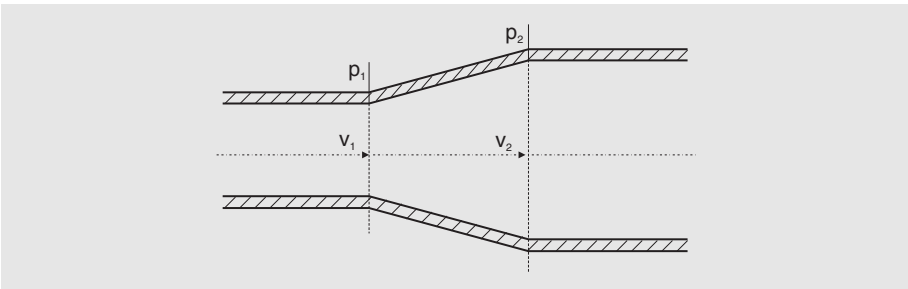


Bild 1-9: Rohrleitungserweiterung

Mit der Umgestaltung der Gleichung (1.9) entsteht die Basis-Gleichung für die Wirkdruckmessung:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (1.10)$$

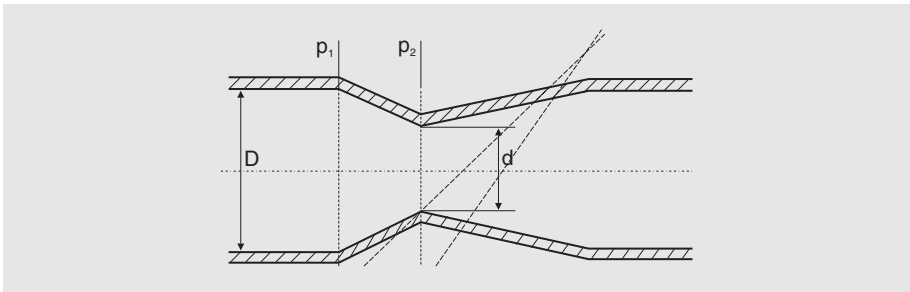


Bild 1-10: Rohreinschnürung

Die Rohreinschnürung in Bild 1-10 setzt einem Durchfluss q_v zwei Öffnungsquerschnitte bei den Durchmessern D und d entgegen.

$$q_v = v \frac{D^2 \pi}{4} = v \cdot A \quad (1.11)$$

Nach dem Kontinuitätsgesetz strömt durch jeden Querschnitt in der gleichen Zeit gleich viel Masse, bei der inkompressiblen Flüssigkeit also der gleiche Durchfluss:

$$q_v = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

$$q_v = v_1 \frac{D^2 \pi}{4} = v_2 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \quad (1.12)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

Mit dem Öffnungsverhältnis m als neu eingeführten Begriff ergibt sich:

$$m = \left(\frac{d}{D} \right)^2 \quad (1.13a)$$

$$m = \frac{v_1}{v_2} \quad (1.13b)$$

$$v_1 = m \cdot v_2$$

eingesetzt in Gleichung (1.10):

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - m^2 v_2^2) = \frac{\rho}{2} v_2^2 (1 - m^2) \quad (1.14)$$

v_2 wird ersetzt durch:

$$v_2 = \frac{q_v}{A_2} \quad \text{aus (1.11)}$$

$$\Delta p = \frac{q_v^2}{A_2^2} \cdot \frac{\rho}{2} (1 - m^2) \quad (1.15)$$

Daraus ergibt sich für den Durchfluss:

$$q_v = A_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho(1 - m^2)}} \quad (1.16)$$

Eine Einschnürung des Strömungsquerschnittes verursacht also eine Steigerung der Fließgeschwindigkeit und eine Abnahme des statischen Druckes. Der Druckabfall ist der Wirkdruck Δp , er ist dem Quadrat des Durchflusses proportional.

$$q_v^2 \sim \Delta p \quad (1.17)$$

$$q_v \sim \sqrt{\Delta p}$$

Wenn in einer Strömung die Geschwindigkeit durch ein Hindernis (Störkörper) auf Null abgestoppt wird, so entsteht an dieser Stelle eine Druckerhöhung, indem kinetische Energie in Druck umgesetzt wird.

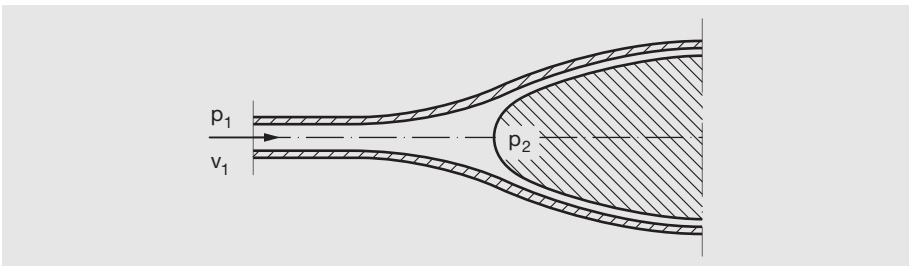


Bild 1-11: Staukörper

Im Mittelpunkt des Störkörpers, dem Staupunkt, ist dann: $v_2 = 0$

Aus Gleichung (1.9) folgt:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{0^2}{2} \quad (1.18)$$

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2$$

Der Gesamtdruck p_2 am Staupunkt ist somit die Summe aus dem statischen Druck p_1 und dem umgewandelten dynamischen Druck:

$$p_{\text{dyn}} = \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2.$$

Wenn also die beiden Druckwerte bekannt sind, lässt sich die Fließgeschwindigkeit und damit der Druck errechnen:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_2 - p_1)} \quad (1.19)$$

Bei der Staudruckmessung hat man diesen Zusammenhang zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit genutzt.

1.2.6 Hydraulik der Gerinne

Strömung in offenen Gerinnen

Betrachtet man bei einer Strömung (Bild 1-12) im Querschnitt A unter der Voraussetzung der gleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung und unter Vernachlässigung der Reibung die Energieverhältnisse nach Bernoulli, so addieren sich die Energie der geodätischen Höhe h , die des Druckes p und die der Geschwindigkeit v .

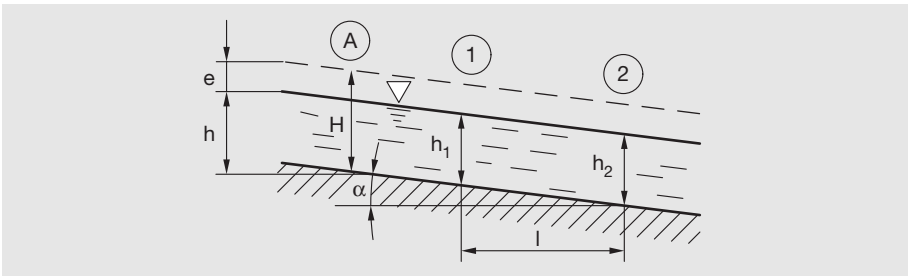


Bild 1-12: Offene Gerinne mit Gefälle

$$E = m \cdot g \cdot h + m \cdot \frac{p}{\rho} + m \cdot \frac{v^2}{2} \quad (1.6)$$

Vernachlässigt man den atmosphärischen Druck, weil er als unveränderliche Größe die Betrachtung nicht beeinflusst, und drückt man die Energiegrößen in Flüssigkeitshöhenangaben aus, so ergibt sich:

$$H = h + \frac{v^2}{2g} = h + e \quad (1.20)$$

Der Ausdruck:

$$e = \frac{v^2}{2g}$$

symbolisiert als Höhenangabe die Umwandlung der kinetischen in Lageenergie. Der Kurvenzug bei e ist die Energielinie.

Nach dem Kontinuitätsgesetz müssen die Energieinhalte an den Punkten 1 und 2 gleich sein:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1.21)$$

Zur Untersuchung der Strömungsverhältnisse bei unterschiedlichem Gefälle wird der Höhenstandsunterschied eingerechnet:

$$h_1 + l \cdot \tan \alpha + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1.22a)$$

$$h_2 - h_1 - \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} = l \cdot \tan \alpha \quad (1.22b)$$

Nach einigen Vereinfachungen und algebraischen Umwandlungen steht die Aussage für das Gefälle an der Wasseroberfläche im rechteckigen Querschnitt:

$$\frac{h_2 - h_1}{l} \approx \frac{\tan \alpha}{1 - \frac{v^2}{g \cdot h}} \quad (1.23)$$

Mit $v = \sqrt{g \cdot h}$ wird eine bemerkenswerte Grenzggeschwindigkeit v_{gr} erreicht, nämlich die Schwallgeschwindigkeit. Sie ist identisch mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit flacher Wellen. Betrachtet man die Gleichung 1.23 bei v_{gr} , so wird der Term:

$$1 - \frac{v^2}{g \cdot h} = 0$$

Für das Gefälle:

$$\frac{h_2 - h_1}{l} = \infty$$

bedeutet das, dass es unter Idealbedingungen (z. B. reibungsfrei) unendlich groß ist. Als Beurteilungskriterium dient die Froudesche Zahl Fr :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (1.24)$$

(Sie symbolisiert das Verhältnis von Trägheits- zu Schwerkraftwirkung. Gleichung 1.24 gilt für den Spezialfall des Rechteckquerschnitts).

Bei Schwallgeschwindigkeit v_{gr} hat Fr die Größe 1. Im Zustand der Schwallgeschwindigkeit bleibt eine Welle stehen, kann weder flussaufwärts noch flussabwärts wandern.

Wenn die Geschwindigkeit kleiner ist als v_{gr} bezeichnet man die Flüssigkeitsbewegung als Strömen. Wellen können stromaufwärts laufen, also Störungen durch z. B. Einbauten machen sich vor der Störungsstelle bemerkbar.

Bei größerer Geschwindigkeit als v_{gr} spricht man vom Schießen. In diesem Fall wirken Störungen stromabwärts, Wellen können nicht stromaufwärts laufen.

Strömungsart	$e = \frac{v^2}{2g}$	Abfluss	Froudesche Zahl	Geschwindigkeit	Geschwindigkeitsenergie
Schwall		gleichförmig	$Fr = 1$	$v = \sqrt{g \cdot h}$	$\frac{v^2}{2g} \Rightarrow$ gleichbleibend
Strömen		verzögert	$Fr < 1$	$v < \sqrt{g \cdot h}$	$\frac{v^2}{2g} \Rightarrow$ abnehmend
Schießen		beschleunigt	$Fr > 1$	$v > \sqrt{g \cdot h}$	$\frac{v^2}{2g} \Rightarrow$ zunehmend

Tab. 1-2: Strömung und Gefälle

Übergang vom Strömen zum Schießen

Wenn die strömend fließende Flüssigkeit beschleunigt wird, kann es zum Schießen kommen, ein Zustand, der durchaus gewollt ist, um unerwünschte zurücklaufende Wellen zu vermeiden. Das ist beispielsweise beim Venturi-Kanal der Fall.

Bild 1-13 zeigt zwei Beispiele:

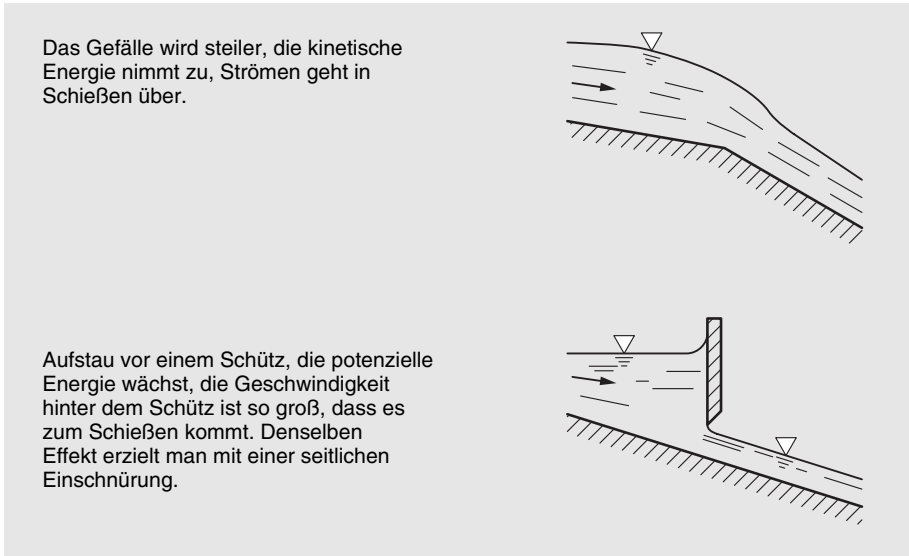


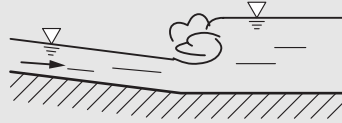
Bild 1-13: Beschleunigender Übergang

Übergang vom Schießen zum Strömen

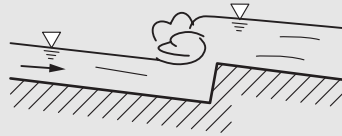
Der große Anteil an kinetischer Energie der schießenden Flüssigkeit muss verringert werden, wenn der Zustand des Strömens eintreten soll. Die Fließgeschwindigkeit ist dann geringer, der Wasserspiegel steigt an. Im strömenden Zustand entsteht eine Welle, die stromauflaufend sehr viel Energie in Wärme umwandelt.

Schließlich sind die Geschwindigkeiten des schießenden Abflusses und der Wellenfortpflanzung gleich, die Welle kommt mit der Schwallgeschwindigkeit zum Stehen. Man spricht vom Wechselsprung, der oft an einer Störungsstelle entsteht und sich dort stabilisiert.

Das Gefälle nimmt spontan ab, der Flüssigkeitsspiegel steigt an, es entsteht im Wechselsprung die energievernichtende Deckwalze.



Ein ähnlicher Effekt tritt auf bei einer positiven Stufe, die ihrerseits zusätzliche Energie fordert.



Ein Sonderfall ist der rückgestaute Wechselsprung hinter einem Schütz, wenn der Spiegel dahinter hoch ist. Die Deckwalze bildet sich als unsichtbarer Sprung aus.

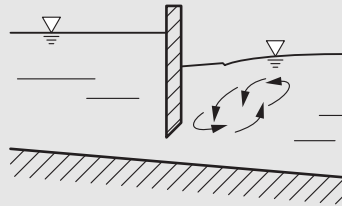


Bild 1-14: Wechselsprung

Abfluss aus großen Öffnungen, Überfälle

Rechteckiger Überfall

Beim reibungslosen Ausfluss aus einem offenen Behälter wird nach Bernoulli die gesamte verfügbare Energie in kinetische Energie umgesetzt.

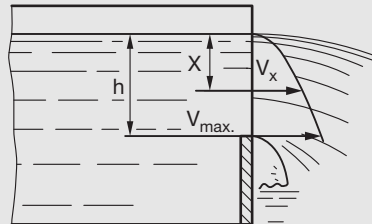
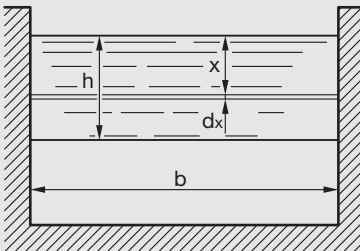


Bild 1-15: Rechteckiger Überfall

In der Tiefe x herrscht demnach die Ausflussgeschwindigkeit:

$$v_x = \sqrt{2g \cdot x}$$

Durch ein Flächenelement $A_x = b \cdot dx$ tritt der Durchfluss $q_{vx} = A_x \cdot v_x$ aus:

$$q_{vx} = b \cdot dx \cdot \sqrt{2g \cdot x} \quad (1.25)$$

Für die ganze Öffnung gilt dann:

$$q_v = \int_0^h b \cdot \sqrt{2g \cdot x} \, dx \quad (1.26a)$$

$$q_v = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2g \cdot h} \quad (1.26b)$$

$$q_v = \frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

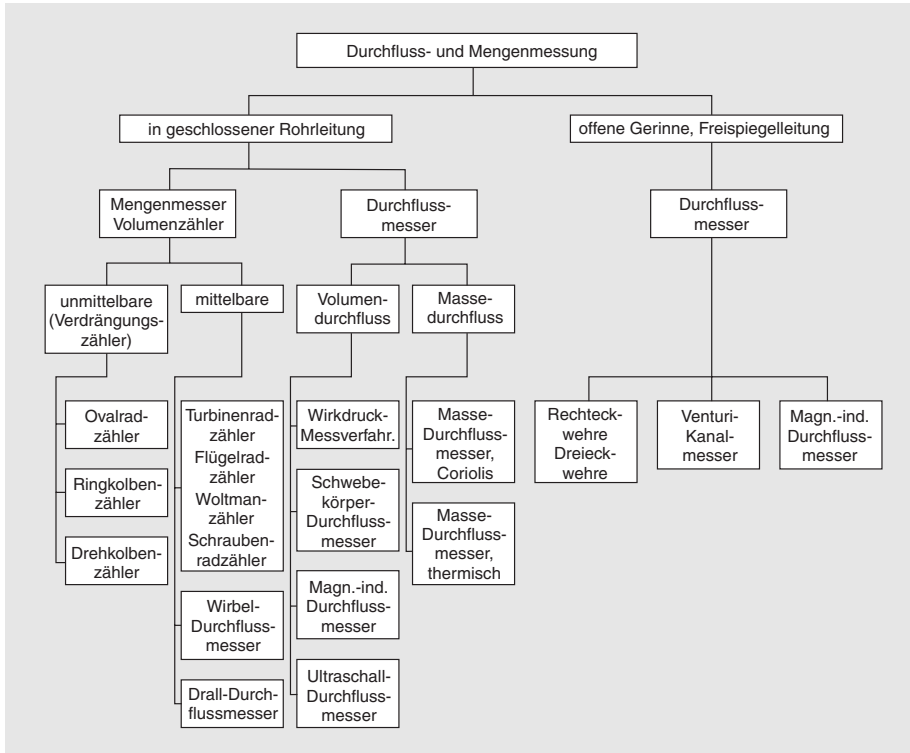
Tatsächlich entstehen am Überfall Verluste, die sich im Überfallkoeffizienten μ ausdrücken:

$$q_v = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad (1.27)$$

Basierend auf dieser Gleichung lassen sich die Berechnungsgrundlagen für Messrohre und Messkanäle erstellen.

2 Durchfluss- und Mengenmessung für Gase und Flüssigkeiten

Es gibt eine große Zahl unterschiedlicher Methoden zur Durchfluss- und Mengenmessung. Jedes Verfahren hat seine spezifischen Eigenschaften, das es für bestimmte Einzelfälle prädestiniert. Die marktpolitisch wichtigsten Messprinzipien werden im Folgenden beschrieben und gegenübergestellt.



Die Darstellung unterscheidet für die Messung in geschlossener Rohrleitung zwischen Mengennessern und Durchflussmessern. Welche Merkmale kennzeichnen diese zwei Varianten?

Mengenmesser, meistens als Volumenzähler bezeichnet, sind Geräte, die Teilvolumina abgrenzen, erfassen und zum Gesamtvolumen integrieren. Die unmittelbaren Volumenzähler arbeiten mit beweglichen Messkammern, deren Volumen eindeutig definiert ist (vergleichbar einer Eimerkette). Dagegen fehlen die abgeschlossenen Messkammern bei den mittelbaren Zählern, die entweder mechanisch mit Flügelrädern arbeiten und dabei zwischen den Flügeln bestimmte Teilvolumina transportieren oder elektrisch über mengenproportionale Impulse.

Auch die Durchflussmesser wählen den indirekten Weg der Messwertbildung, und zwar entweder über die Erfassung der Fließgeschwindigkeit oder über die Ermittlung der kinetischen Energie der Strömung.

Dem Anwender bleibt die schwierige Aufgabe, das für seinen Zweck technisch richtige und kosteneffiziente Gerät auszuwählen. Gerätebeschreibungen und Auswahlkriterien sollen diese Arbeit unterstützen.

2.1 Volumenzähler

Volumenzähler mit beweglichen Messkammern, die durch das Messmedium angetrieben werden, heißen auch Verdrängungszähler. Sie lassen sich für Gase und Flüssigkeiten benutzen. Unmittelbare Volumenzähler sind sie deswegen, weil sie definierte Teilvolumina in geometrisch abgegrenzten Messkammern transportieren.

Zu den mittelbaren Volumenzählern gehören die Volumenzähler mit Messflügeln – auch als Turbinenzähler bezeichnet – und die Volumenzähler mit erzwungenen Strömungsänderungen. Bei diesem Verfahren werden Zählimpulse erzeugt, die ein bestimmtes – nicht räumlich abgegrenztes – Teilvolumen repräsentieren. Das ist beispielsweise die Menge, die beim Flügelradzähler eine Umdrehung veranlasst.

2.1.1 Ovalradzähler

Das Messelement besteht hier aus zwei verzahnten ovalen Zahnrädern.

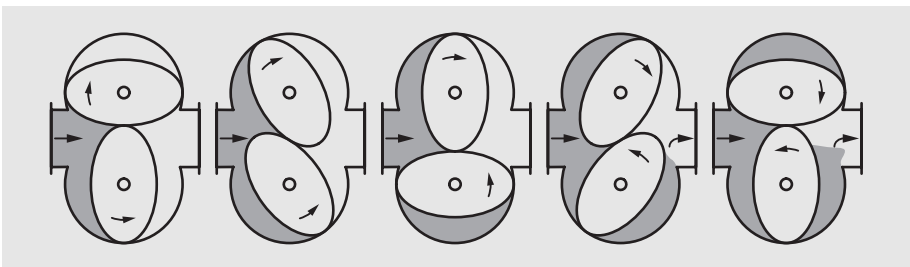


Bild 2-1: Wirkungsweise des Ovalradzählers

Die antreibende Flüssigkeit erzeugt je nach Stellung der Ovalräder unterschiedlich angreifende Drehmomente, die die Räder aufeinander abrollen lassen.

So heben sich beispielsweise in Bild 2-1 links die auf das untere Rad wirkenden Drehmomente auf, während am oberen Rad das einseitig greifende Drehmoment die Drehbewegung verursacht. Über dem oberen Ovalrad entsteht ein abgeschlossenes sichelförmiges Volumen, das in der Folge zum Geräteausgang geschoben wird. Jede Umdrehung des Ovalradpaares transportiert ein definiertes Flüssigkeitsvolumen.

Die Anzahl der Umdrehungen ist somit ein genaues Maß für die durchflossene Menge. Die exakte Verzahnung sorgt für eine gute Abdichtung zwischen den Rädern. Das Spiel zwischen den Ovalradzählern und den Messkammerwänden ist so klein, dass die Spaltverluste gering bleiben.



Bild 2-2: Ovalradzähler für industrielle Flüssigkeiten, Ausführung mit Zählwerk

Die Umdrehungen des Ovalradpaares werden entweder über eine permanentmagnetische Kupplung stopfbuchlos auf einen Anzeiger übertragen oder durch einen Magnetfeld-gesteuerten Impulsgeber rückwirkungsfrei abgetastet.

Zahnräder und Lager sind mechanische Verschleißteile. Durch die Auswahl der Materialien für Gehäuse, Ovalräder und Lagerungen, sowie durch Anbau von Abstandsverlängerungen für hohe Temperaturen, sind die Ovalradzähler nahezu an alle Betriebsbedingungen anpassbar.

Die Darstellung der Fehlergrenzen in Bild 2-3 zeigt die Abhängigkeit vom Messmedium, und zwar speziell von dessen Viskosität. Bei niedriger Viskosität und vorgegebener Genauigkeit ist die Messspanne erheblich kleiner als bei hoher Viskosität.

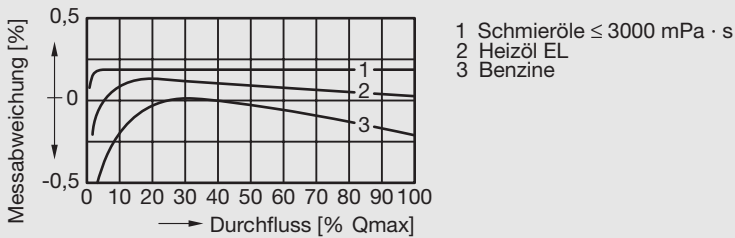


Bild 2-3: Darstellung Fehlergrenzen in Abhängigkeit vom Messmedium

Es ist nachvollziehbar, dass der Druckverlust mit höher werdender Viskosität steigt. Die Druckverlust-Kurven (Bild 2-4) beziehen als zusätzlichen Parameter die Gerätegröße ein.

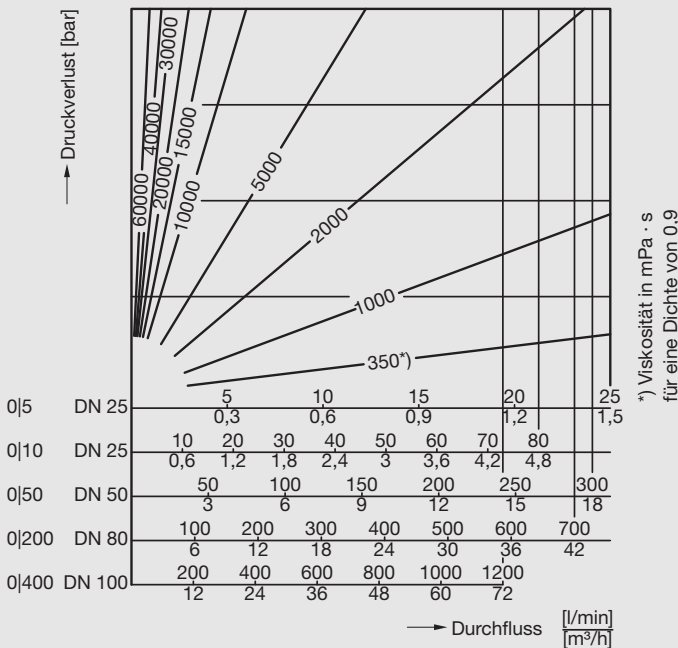


Bild 2-4: Druckverlust in Abhängigkeit von der Viskosität

Technische Daten	
Nennweiten	DN 6...DN 400
maximal möglicher Durchfluss	1200 m^3/h
Viskosität	0,3...1 $\cdot 10^5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$
Maximal zulässiger Druck	100 bar
Maximal zulässige Temperatur	290 $^{\circ}\text{C}$
Zulassung der Eichung	

2.1.2 Ringkolbenzähler

In einem zylindrischen Gehäuse wird ein Hohlzylinder, nämlich der Ringkolben, exzentrisch zum Umlauf gebracht. Er transportiert dabei definierte Teilvolumina. Die Wirkungsweise ist im Bild 2-5 dargestellt.

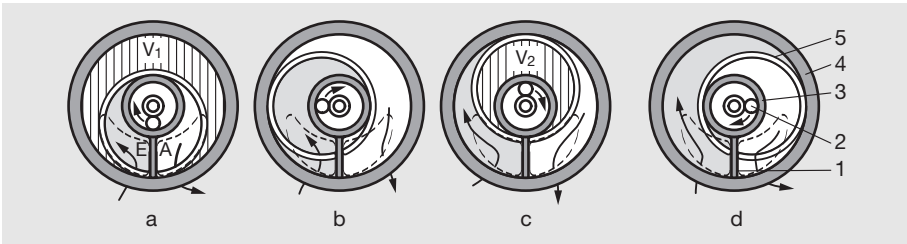


Bild 2-5: Wirkungsweise des Ringkolbenzählers

Der feststehende Außenzylinder (4) ist gleichzeitig das Gehäuse, in dem Trennwand (1) und Führungsring (3) befestigt sind. Die Trennwand grenzt die im Gehäuseboden befindliche Eintritts- (E) und Austrittsöffnung (A) voneinander ab. Der Ringkolben (5) ist im Zapfen (2) gelagert und an der Trennwand geführt. In seinem Boden befinden sich Öffnungen zum Be- und Entfüllen. In den Stellungen (a) und (b) wird das Ringkolbenvolumen V_2 gefüllt. Dabei drückt die Flüssigkeit den Ringkolben weg, so dass das Gehäusevolumen V_1 gefüllt werden kann. Gleichzeitig entleert sich der rechte Teil des Volumens V_1 durch die Kraft, die durch den Ringkolben ausgeübt wird. Wenn die Position (d) erreicht ist, wurde V_1 einmal vollständig geleert und neu gefüllt, das Volumen V_2 beginnt die Entleerungsphase. Bei einem Umlauf des Ringkolbens werden also die beiden Teilvolumina V_1 und V_2 erfasst.



Bild 2-6: Ringkolbenzähler für Wasser (Typ RONDO DIRECT) in verschiedenen Nennweiten

Die Bewegung des Kolbenzapfens (2) wird mittels einer aus Mitnehmer und Magnetkupplung bestehenden Übertragungseinrichtung auf das Anzeigewerk übertragen. Beim Ringkolbenzähler RONDO DIRECT ist die Magnetkupplung entfallen. Die Drehbewegung des Kolbens wird direkt mechanisch auf das Zählwerk übertragen. Da der Ringkolben am schnellsten verschleißt, ist seine Werkstoffauswahl sehr wichtig. Es stehen verschiedene Materialien wie z. B. Grauguss, Bronze, Hartgummi, Kohle oder Kunststoff zur Verfügung. Bei hohen Temperaturen verlängert ein Zwischenstück den Abstand zum Zählwerk. Ringkolbenzähler werden insbesondere für die Wasser- und Ölmessung eingesetzt.

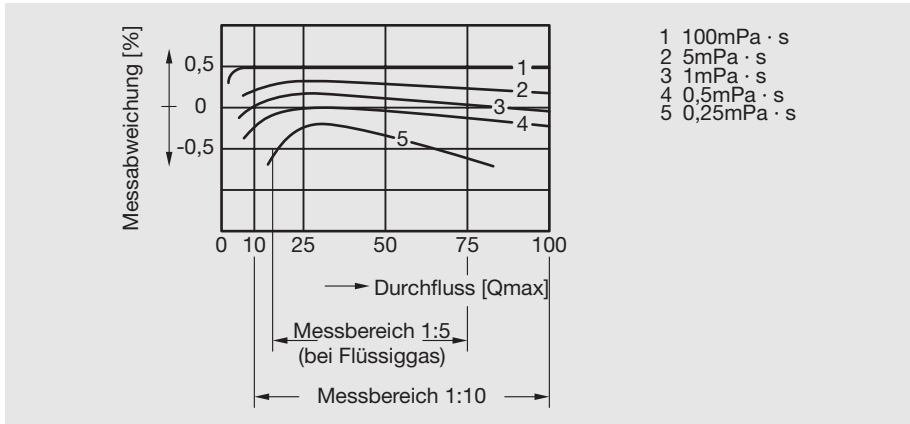


Bild 2-7: Darstellung der Messabweichung in Abhängigkeit von der Viskosität

Die Fehlerkurven im Bild 2-7 beweisen die hohe Genauigkeit bei hoher Viskosität, und zwar deshalb weil dann die Spaltverluste geringer werden. Immerhin lassen sich Ringkolbenzähler noch bei 10.000 mPa·s verwenden.

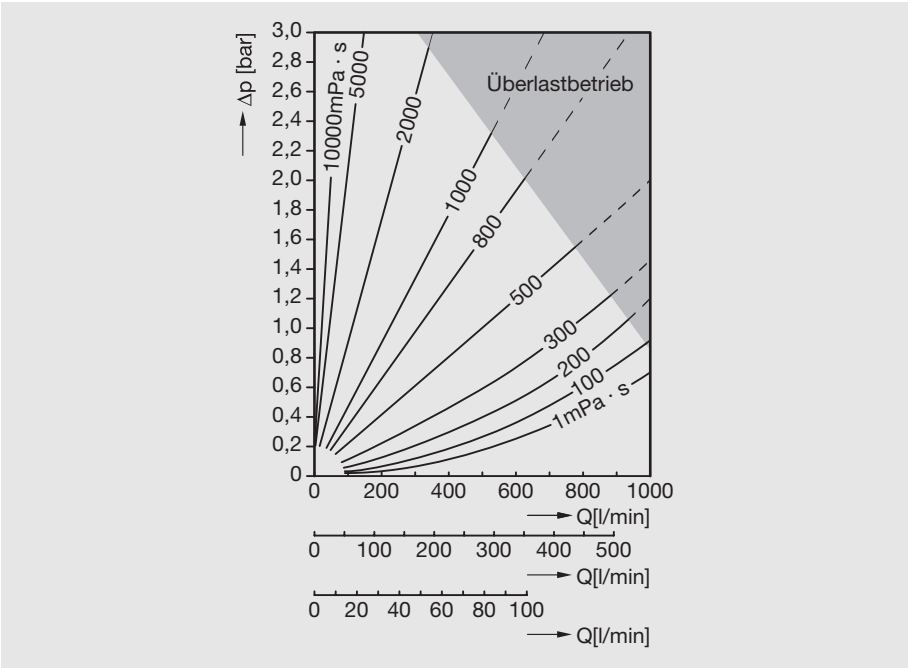


Bild 2-8: Druckverlust in Abhängigkeit von der Viskosität bei NW 80

Dass mit steigender Viskosität der Druckverlust zunimmt, zeigt Bild 2-8. Bei großem Differenzdruck muss der verwendbare Werkstoff für den Ringkolben auf seine mechanische Festigkeit geprüft werden.

Technische Daten	
Nennweiten	DN 15...DN 80
Maximal möglicher Durchfluss	1000 m ³ /h
Viskosität	0,3...2 · 10 ⁴ mPa·s
Maximal zulässiger Druck	PN 100
Maximal zulässige Temperatur	300 °C
Zulassung der Eichung	

2.1.3 Drehkolben-Gaszähler

Zwei Drehkolben, das sind Walzen mit der Querschnittsform einer Acht, wälzen sich, angetrieben durch den Gasstrom, gegenläufig ab. Die Form der Kolben verhindert Berührungen, der Spalt zwischen den Walzen bleibt gleich.

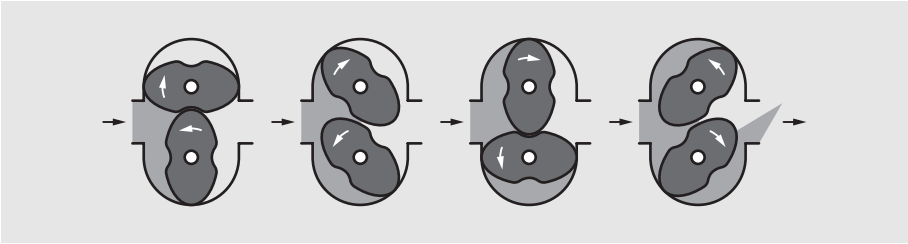


Bild 2-9: Arbeitsweise des Drehkolben-Gaszählers

Ein Zahnradgetriebe außerhalb der Messkammer synchronisiert die Drehkolben. Bei jedem Umlauf werden vier sichelförmige Volumina durch die Messkammer bewegt, wobei die Drehzahl dem Gasdurchfluss proportional ist. Über ein justierbares Feingetriebe erfolgt die Ankopplung an das Zählwerk.

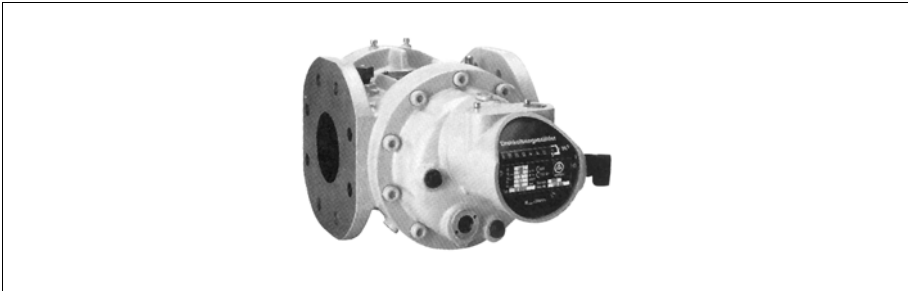


Bild 2-10: Drehkolben-Gaszähler

Durch die Spalte fließt unter Einfluss des Druckgefälles ein Spaltstrom ungemessen hindurch. Der negative Messfehler wird durch die Justierung ausgeglichen. Bei der Hochdruckmessung steigt die Zähigkeit des Gases, und damit verringert sich der Spaltverlust, so dass sich das verlusttreibende höhere Druckgefälle wieder ausgleicht.

Die pulsierende Gasförderung erzeugt eine Eigenfrequenz, die das angeschlossene Rohrsystem zu Schwingungen anregt. Kommt es zur Resonanz, entstehen starke Geräusche und plötzlicher Druckverlust. Dieser Zustand sollte nicht auftreten; unter Umständen müssen daher Schall-oder Pulsationsdämpfer eingesetzt werden.

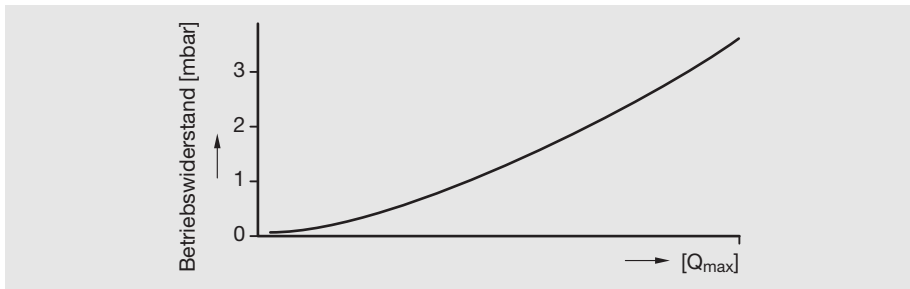


Bild 2-11: Druckverlust des Drehkolben-Gaszählers

Der Druckverlust entsteht aus den mechanischen und dynamischen Widerständen im Zähler. Der dynamische Anteil nimmt mit der Belastung stark zu.

Drehkolben-Gaszähler sind sehr empfindlich gegen Verschmutzung. Da die Verschmutzung den Druckverlust beeinflusst, muss dieser beobachtet und das Gerät entsprechend gereinigt werden.

Technische Daten	
Nennweiten	DN 40...DN 3000
Durchfluss	zwischen 3 m ³ /h und 6500 m ³ /h (Gas im Betriebszustand)
Druckstufe	max. PN 25
Betriebstemperatur	-10...40 °C
Messspanne	bis 1:50
Fehlergrenze	innerhalb der zulässigen Grenzen für die Eichung, d. h. < 1 %
Zulassung der Eichung	

2.1.4 Turbinenzähler

Turbinenzähler sind mittelbare Volumenzähler, bei denen die Strömung Flügelräder in Rotation versetzt. Die Zahl der Flügelradumdrehungen ist dem durchflossenen Volumen proportional, die Frequenz der Umdrehungen dem Durchfluss.

Die verschiedenen Ausführungen unterscheiden sich durch die Richtung der Anströmung und durch die Methode der Messwerterfassung.

Flügelradzähler

Das Laufrad des Flügelradzählers wird tangential angeströmt und in Drehung versetzt. Über ein Zahnradgetriebe wirkt die Radachse auf das Zählwerk, das bei Nassläufern in der Flüssigkeit liegt. Flügelradzähler gibt es als Einstrahlzähler (Bild 2-12a) und als Mehrstrahlzähler (Bild 2-12b).

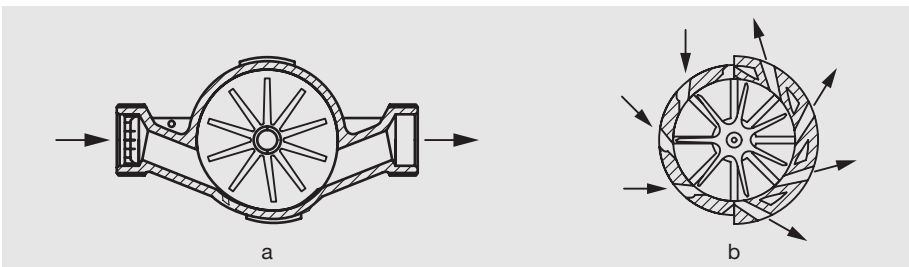


Bild 2-12: Flügelradzähler

Trockenläufer trennen Mess- und Anzeigraum und übertragen die Rotation mit Hilfe von Magnetkupplungen. Flügelradzähler werden als Hauswasserzähler und Wohnungswasserzähler benutzt, dienen aber auch in Heißwasserausführung als Volumenmessteil für kleinere Wärmemengenzähler.

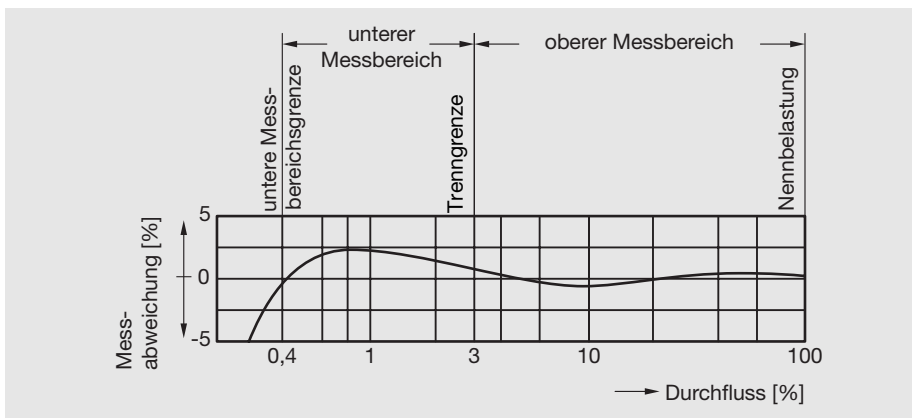


Bild 2-13: Fehlerkurve eines Mehrstrahl-Flügelradzählers

Bild 2-13 zeigt die Fehlerkurve und zwar beziehnend auf die Grenzen des Eichgesetzes, das sind $\pm 2\%$ (Kaltwasser)/ $\pm 3\%$ (Warmwasser) im oberen und im unteren Messbereich.

Technische Daten	
Nenngrößen (abgeleitet vom Durchfluss)	0,6...15 m³/h
Kleinstmöglicher Durchfluss	12 l/h
Größtmöglicher Durchfluss	30 m³/h
Viskositätsgrenze	$\leq 5\text{ mPa}\cdot\text{s}$
Zulassung zur Eichung	



Bild 2-14: Schnittbild Einstrahlzähler (Typ PICOFLUX)



Bild 2-15: Schnittbild Mehrstrahlzähler (Typ OPTIMA ARTIST)

Woltman-Zähler

Die Achse des Woltman-Laufrades liegt parallel zur Strömungsrichtung. Das Turbinenrad wird also axial angeströmt. Ein reibungsarmes Getriebe verbindet mittels einer Magnetkupplung die Achse mit dem Zählwerk.

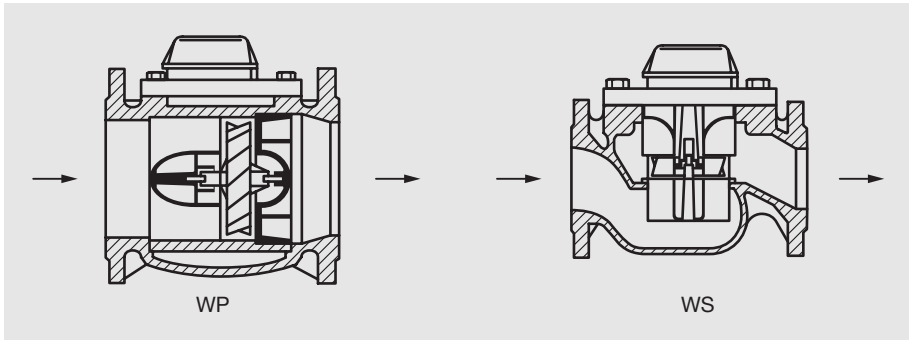


Bild 2-16: Woltman-Zähler

Man unterscheidet zwei markante Bauformen, und zwar den waagrechten Einbau „WP“ oder den senkrechten Einbau „WS“ des Turbinenrades. Der senkrechte Einbau hat den Vorteil der geringeren Lagerreibung und damit der größten Empfindlichkeit. Allerdings ist der Druckverlust, bedingt durch die Strömungsleitung, größer. Der waagrecht-einbau hat die Vorteile beliebige Zählereinbaulage (z. B. Vertikal), größere Messbereiche und kleinerer Druckverlust.

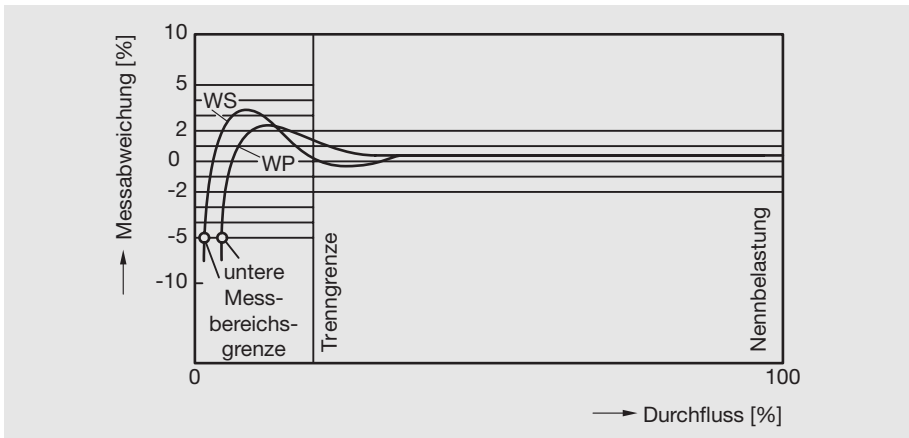


Bild 2-17: Typische Fehlerkurve eines Woltman-Zählers mit Nennweite DN 80

Die im Bild 2-17 dargestellte Fehlerkurve bezieht sich auf die Eichfehlergrenzen. Der Woltman-Zähler wird vor allem als Wasserzähler benutzt, dient aber ebenso wie Flügelradzähler auch als Volumenmessteil für Wärmemengenzähler.



Bild 2-18: Schnittbild Woltmann-Zähler „WP“ (Typ HELIX)



Bild 2-19: Schnittbild Woltmann-Zähler „WS“ (Typ VERTIX)

Für große Messspannen hat man den Verbundwasserzähler „WPV“ (Bild 2-20) konstruiert. Das ist eine Kombination aus einem großen (Hauptzähler) und einem kleinen (Nebenzähler) Zähler. Ein automatisches, druckgesteuertes Federumschaltventil besorgt die Umschaltung in einen Bereich, in dem sich die Messbereiche beider Zähler überschneiden.



Bild 2-20: Verbundwasserzähler (Typ INLINE) mit Nebenzähler (Typ MODULMETER MO-N)

Während die beschriebenen Kaltwasserzähler eine Maximaltemperatur von 40 °C (50 °C) zulassen, kann die Variante Heißwasserzähler bis 120 °C (130 °C) verwendet werden. Nach Auswahl geeigneter Werkstoffe wird der Woltman-Zähler auch für industrielle Flüssigkeiten wie vollentsalztes Wasser verwendet.

Technische Daten			
Bauart	WP	WS	WPV
Nennweiten	DN 40...DN 500	DN 50...DN 150	DN 50...DN 200
Kleinstmöglicher Durchfluss	350 l/h	200 l/h	20 l/h
Größtmöglicher Durchfluss	4500 m ³ /h	350 m ³ /h	600 m ³ /h
Viskositätsgrenze	≤ 3 mPa·s		
Zulassung zur Eichung			

Turbinenradzähler

Turbinenradzähler „WP“, häufig auch als Turbinen-Durchflussmesser bezeichnet, ähneln in ihrem Grundaufbau dem Woltmann-Zähler mit dem gravierenden Unterschied, dass der Abgriff der Rotation elektrisch erfolgt und nahezu rückwirkungsfrei ist. Die Turbinenräder sind leicht, die Lager extrem reibungsarm.

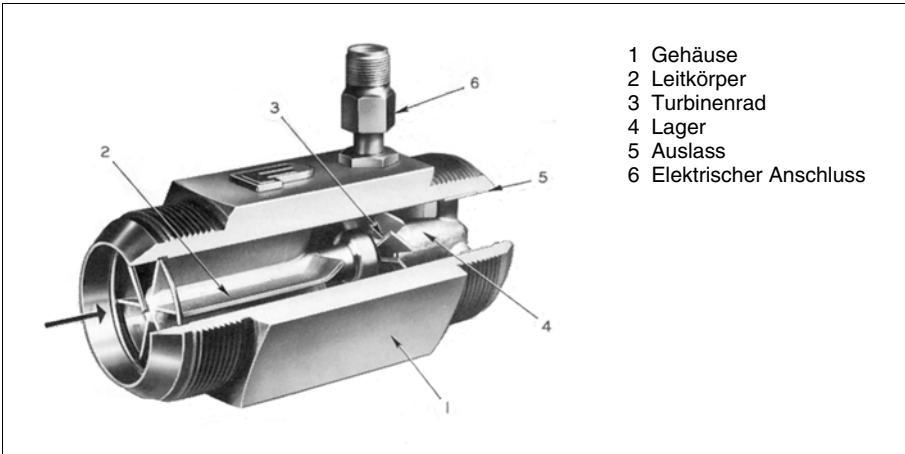


Bild 2-21: Turbinen-Durchflussmesser

Dadurch wird das System im Anlauf empfindlicher, die Messspanne erweitert sich nach unten. Kleinere Nennweiten sind möglich. Der Turbinenradzähler misst Gase und Flüssigkeiten mit erhöhten Viskositätswerten.

Eine Spule im Gehäuse gegenüber dem Turbinenrad greift das Signal ab, und zwar nach unterschiedlichen Verfahren:

- Ein Magnet in einem Flügel induziert in der Spule einen Spannungsimpuls bei jedem Umlauf.
- Die Spule umschließt einen Magneten. Die Flügel bestehen aus einem ferro-magnetischen Werkstoff. Die vorbeistreichenden Flügel verzerren das Magnetfeld, es wird wieder ein Spannungsimpuls induziert.
- Eine hochfrequente Wechselspannung (10 kHz) fließt durch die Spule. Der ferro-magnetische Flügel verändert die Amplitude der Speisespannung und moduliert so eine Sekundärfrequenz auf die Trägerfrequenz.

In allen drei Fällen wird in einem nachgeschalteten Verstärker und Wandler eine Signalfrequenz erzeugt, die der Umdrehungszahl und somit dem Durchfluss proportional ist. Deshalb entsteht aus dem Zähler, dessen Einzelimpulse den Wert eines Teilvolumens haben, durch die zeitbezogene Frequenz, ein Durchflussmesser.

Interessant ist die Tatsache, dass dieses Gerät auch bei höheren Viskositäten arbeitet, allerdings mit der Einschränkung, dass sich der Bereichsanfang für den linear proportionalen Bereich verschiebt (Bild 2-22).

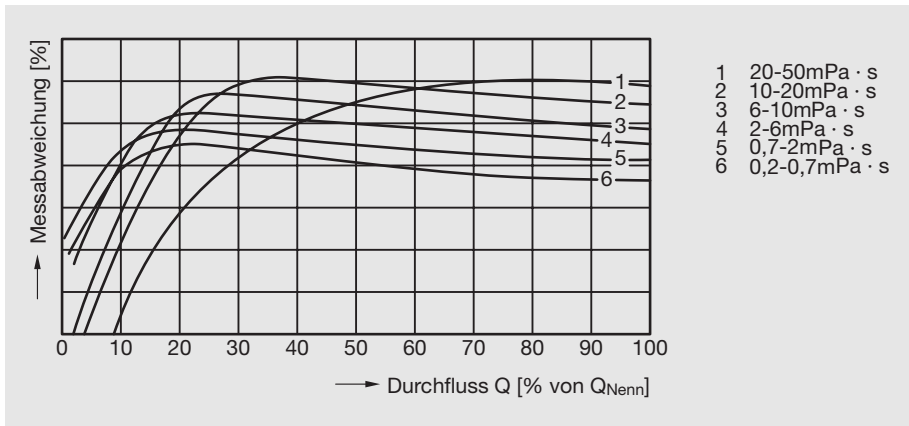


Bild 2-22: Fehlerkurven in Abhängigkeit von der Viskosität

Die Messspanne verkleinert sich mit steigender Viskosität. Deshalb muss bei hohen Viskositäten eine bezogene Kalibrierkurve, die dann nicht linear ist, erstellt werden.

Technische Daten	
Nennweiten	DN 5...DN 600
Kleinstmöglicher Durchfluss	5 l/h (Wasser)
Größtmöglicher Durchfluss	10.000 m ³ /h (Wasser)
Messspanne max.	1:100
Viskositätsgrenze	700 mPa·s
Temperaturen	-200 °C (kryogene Flüssigkeit) bis 250 °C (600 °C)
Druckbelastung	bis 100 bar (1000 bar)
Fehlergrenzen	+ 0,25 %...+1 % vom Messwert

Eine spezielle Variante der Turbinenzähler ist der Turbinenrad-Gaszähler zur Messung von großen Gasdurchflüssen. Der Gasstrom wird auf einen ringförmigen Querschnitt eingengt, beschleunigt und auf das leichtgängige Flügelrad geleitet. Der Abgriff erfolgt wieder mechanisch über ein Getriebe auf das Zählwerk.

Dieses Gerät wird schwerpunktmäßig zur Abrechnungsmessung bei Brenngasen verwendet, zumal es für diesen Zweck eichfähig zugelassen ist.

Technische Daten	
Nennweiten	DN 50...DN 600
Keinstmöglicher Durchfluss	2,5 m ³ /h (Betriebsbedingungen)
Größtmöglicher Durchfluss	25.000 m ³ /h
Messspanne	1:20
Eichfehlergrenze	+1 % vom Messwert (Spanne 1:5)
Temperaturgrenzen	-10...50 °C

2.1.5 Wirbel-Durchflussmesser

Warum flattert die Fahne im Wind? Weshalb singt der gespannte Draht (Stromleitung) bei Wind? Es gibt eine große Anzahl von Beispielen für die Effekte der Wirbelbildung an umströmten Körpern. Was ereignet sich tatsächlich?

Wie bereits unter Kapitel 1.2.4 erläutert, verursacht ein Strömungshindernis Wirbel. An einem freien Störkörper entstehen beidseitig Wirbel, die sich gegenseitig ablösen und so die Karmansche Wirbelstraße bilden. Die oben erwähnte Fahne zeichnet den Verlauf der Wirbelstrasse, der gespannte Draht schwingt mit der Wirbelfrequenz.

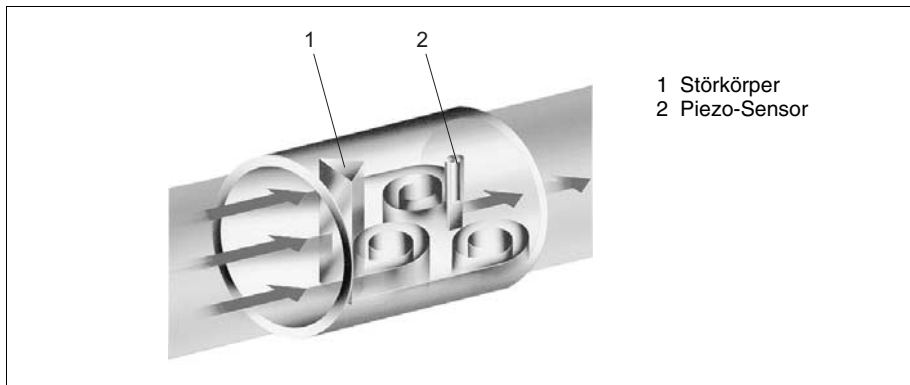


Bild 2-23: Messprinzip eines Wirbel-Durchflussmessers

Der geometrische Abstand zweier aufeinander folgender Wirbel sei l , der zeitliche Abstand von einem festen Bezugspunkt betrachtet sei t . Dann gilt für die Wirbel-frequenz f :

$$f \sim \frac{l}{t}$$

Strouhal hat die Zusammenhänge zwischen Geometrie und Geschwindigkeit entdeckt:

$$f \sim \frac{v}{d}$$

Dabei ist d der Durchmesser des runden Störkörpers. Mit der nach Strouhal benannten Proportionalitätskonstanten, der Strouhal-Zahl St , heißt es:

$$f = St \frac{v}{d}$$

Die Forderung an den Störkörper ist die, dass die Geometrie der Wirbelbildung sich nicht mit dem Durchfluss ändert, und dass die Strouhal-Zahl über einen großen Reynolds-Zahl-Bereich konstant bleibt. Die Formgebung und das Öffnungsverhältnis im Rohr entscheiden über eine exakte Wirbelablösung und über die Konstanz der Strouhal-Zahl. Eine andere Forderung stellt der Messtechniker an das System, nämlich die, dass die Wirbelintensität stark sei. Und schließlich darf der Druckverlust nicht zu groß sein.

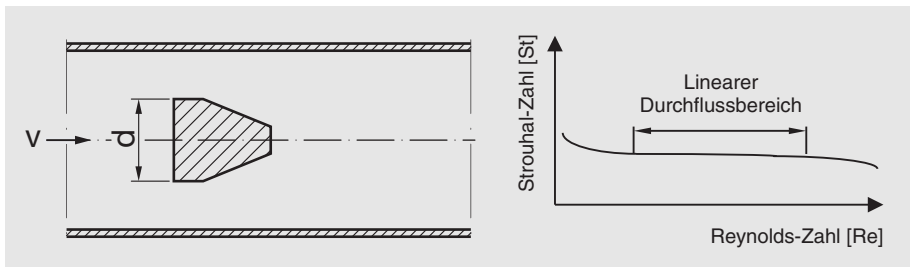


Bild 2-24: Delta-Störkörper und die zugehörige Abhängigkeit der Strouhal-Zahl von der Reynolds-Zahl.

Die optimale Form für den Störkörper hat man durch Berechnung und empirische Erhebungen ermittelt. ABB setzt die Deltaform ein.

Der kleinstmögliche Reynolds-Wert Re_{min} bestimmt den Messbereichsanfang, das bedeutet, dass sich die Messspanne mit steigender Viskosität verkleinert. Die obere Re-Grenze liegt so hoch, dass sie für den Bereichsendwert bedeutungslos bleibt.

Die Methoden der Wirbelerfassung sind unterschiedlich. Die Wirbel erzeugen periodische Druck- und Geschwindigkeitsänderungen. Das sind Begleiteffekte, die eine Erfassung ermöglichen. ABB bringt einen Messwertaufnehmer hinter den Störkörper oder freischwingend in den Störkörper (abhängig von Nennweite und Anschlussart). Seine Zunge wird durch die Druckunterschiede im Wirbeltakt ausgelenkt.

Piezoaufnehmer im Inneren des Sensors wandeln die entstehende Pressung in elektrische Größen um, die als Zählimpulse verstärkt werden. Die Verteilung von vier Piezoaufnehmern ist so gewählt, dass sich Vibrationen der Rohrleitung im Messwertaufnehmer eliminieren.

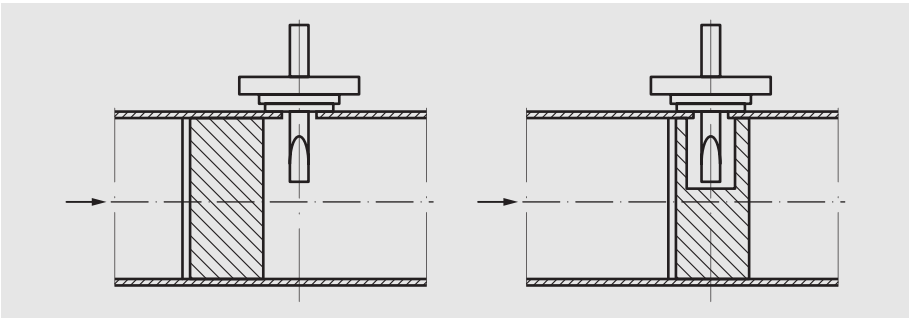


Bild 2-25: Messwertaufnehmer im Wirbel-Durchflussmesser

Strömt das Messmedium mit einem gestörten Strömungsprofil (Wirbel, Drall) in die Messstrecke, so können sich die Wirbel nicht sauber ausbilden. Deshalb müssen dem Gerät Beruhigungsstrecken vorgeschaltet werden, deren Länge von der Art der Störung abhängt.

Mit dem Wirbel-Durchflussmesser können die Durchflüsse von Dampf, Gasen und Flüssigkeiten gemessen werden.

Die Ausführung in kompakter Bauform FV4000-VT4 (Bild 2-28) verbindet Messwertaufnehmer und Messumformer zu einer Einheit mit lokaler Anzeige für Durchfluss- und Mengenanzeige. Der Messumformer basiert auf einem digitalen Signalprozessor (DSP) und erzeugt das 4...20 mA Analog-Ausgangssignal. Als Zweileitergerät benötigt es eine Versorgungsspannung von 14 V...46 V DC, die über eine Zweidrahtleitung über den Analogausgang eingespeist wird.

Neben dem Analogausgang ist noch ein Binärausgang vorhanden. Dieser kann als Impulsausgang oder Grenzwertkontakt konfiguriert werden. Die Messwertanzeige für Gase und Flüssigkeiten erfolgt in direkt ablesbaren physikalischen Betriebseinheiten.

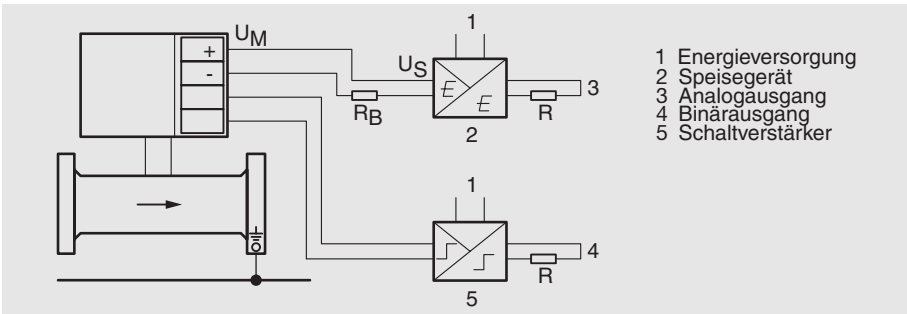


Bild 2-26: Zweileiter-Anschlussbild

Über einen in den Messwertaufnehmer integrierten Messwiderstand Pt 100 kann ohne Mehraufwand eine Sattdampfmessung oder eine Temperaturüberwachung realisiert werden.

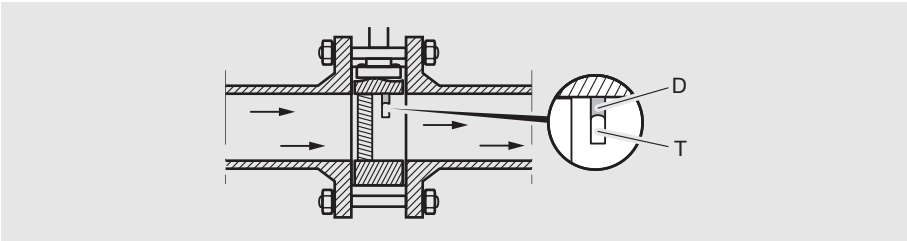


Bild 2-27: Messwertaufnehmer für Durchfluss (D) und Temperaturmessung (T)



Bild 2-28: Kompakte Bauform: FV4000-VT4
in Flanschausführung

Bild 2-29: Getrennte Bauform: FV4000-VR
in Zwischenflanschausführung

Der Messumformer kann auch räumlich getrennt montiert werden, indem ein spezielles Kabel (Bild 2-29) verwendet wird. Er kann an eine Wand montiert oder mit einem Rohr-Montageset installiert werden.

Ausführung Zweileitertechnik mit Feldbus-Schnittstelle

Der Messumformer ist in Zweileitertechnik ausgeführt, d. h. Energieversorgung und digitale Kommunikation der Feldbus-Schnittstelle werden über die gleichen Leitungen geführt. Parallel steht noch ein Schaltausgang zur Verfügung für Grenzwert- oder Systemüberwachung. Alle eingespeicherten Daten bleiben bei Netzausfall erhalten.

Zur Bedienung und Konfiguration kann das Device Management Tool Asset Vision Basic für intelligente Feldgeräte eingesetzt werden, wobei die FDT/DTM-Technologie genutzt wird. Über verschiedene Kommunikationswege ist der Datenaustausch mit einer kompletten Feldgerätepalette ermöglicht. Die Haupteinsatzziele liegen in der Parameteranzeige, Konfiguration, Diagnose, Dokumentation und Datenverwaltung für alle intelligenten Feldgeräte, die selbst den Kommunikationsanforderungen genügen.

Kommunikation PROFIBUS PA

Der Messumformer eignet sich zum Anschluss an Segmentkoppler DP/PA.

PROFIBUS PA-Protokoll

Funktionsblöcke: **2 x AI, 1 x TOT**

GSD-Dateien: -PA139700 (1 x AI)

 -PA139740 (1 x AI, 1 x TOT)

 -ABB_05DC (2 x AI, 1 x TOT + herstellerspezifische Daten)

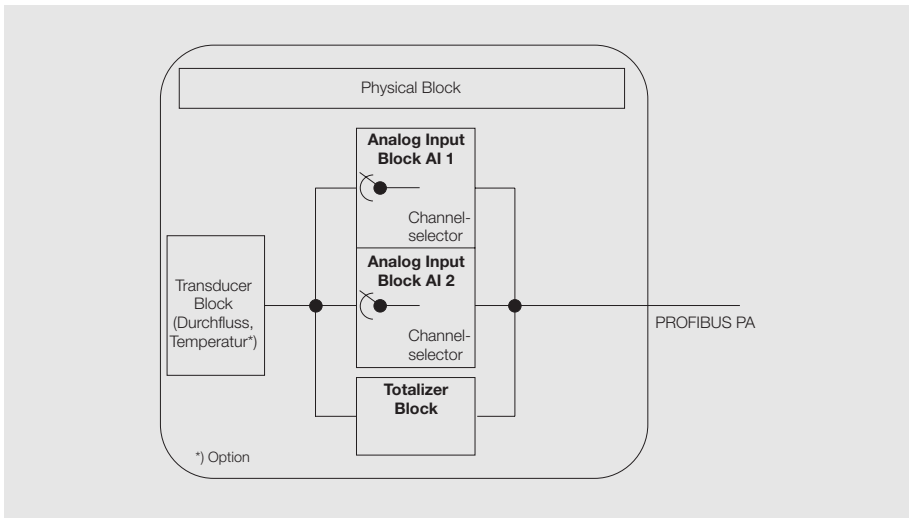


Bild 2-30: Blockstruktur des FV4000 mit PROFIBUS PA

Über den Channelselector ist die Ausgangsgröße (Volumen-, Norm-, Massedurchfluss oder Temperatur) auswählbar.

Kommunikation FOUNDATION Fieldbus

Der Messumformer eignet sich zum Anschluss an spezielle Speisegeräte oder ein Linking Device.

FOUNDATION Fieldbus-Protokoll

Ausgangssignal gemäß FOUNDATION Fieldbus-Protokoll

Funktionsblöcke: 2 x AI

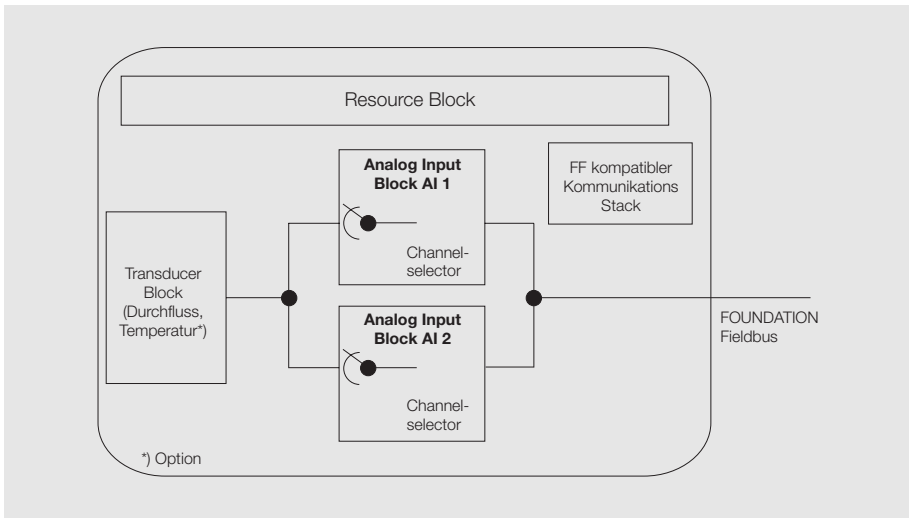


Bild 2-31: Blockstruktur des FV4000 mit FOUNDATION Fieldbus

Über den Channelselektor ist die Ausgangsgröße (Volumen-, Norm-, Massedurchfluss, Zähler oder Temperatur) auswählbar.

Geräteauswahl

Die Wirbel-Durchflussmesser werden in den Nennweiten DN 15 bis DN 300 gefertigt.

ABB stellt kostenlos Hilfsmittel zur Verfügung, die zur Auswahl und Auslegung der für eine Messaufgabe geeigneten Messgeräte dienen, aber auch Unterstützung für Bestellungen bieten.

Auslegung Messbereiche

Nennweite		Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Gas $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ $\eta = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
DN	inch	Messspanne [m^3/h]	Messspanne [m^3/h]
15	$\frac{1}{2}$	0,5...6	4...24
25	1	0,8...18	14...150
40	$1\frac{1}{2}$	2,4...48	30...390
50	2	3,0...70	40...500
80	3	8,0...170	90...1200
100	4	10,0...270	150...1900
150	6	30,0...630	300...4500
200	8	70,0...1100	250...8000
250	10	60,0...1700	800...14000
300	12	95,0...2400	1400...20000

Tab. 2-1: Wirbel-Durchflussmesser FV4000, Messbereiche

Die Werte in der Tabelle dienen als Anhaltspunkte. Die physikalisch tatsächlich erreichbaren Messanfänge hängen in erster Linie von der Betriebsdichte bzw. der Viskosität des Messmediums und dem (Nicht-) Vorhandensein von Vibrationen und / oder Pulsation ab. Die Messbereiche, bei denen die spezifizierte Genauigkeit erreicht wird, hängt von einer minimal erforderlichen Reynoldszahl ab, da unterhalb dieser Zahl kein linearer Zusammenhang zwischen Wirbelfrequenz und Fließgeschwindigkeit hergestellt werden kann.

Zur Vermeidung von Kavitation wird in der Messzone ein Überdruck gefordert, der sich folgendermaßen errechnet:

$$p_2 \geq 1,3 \cdot p_D + 2,6 \cdot \Delta p$$

p_2 = Statischer Überdruck hinter dem Gerät

p_D = Dampfdruck der Flüssigkeit bei Betriebstemperatur

Δp = Druckverlust (Diagramm Bild 2-32)

Bei der Auswahl von Geräten für die Messung bei Gasen oder Dampf muss man berücksichtigen, dass sich die Tabellenwerte auf Luft beziehen und dass der Wirbel-Durchflussmesser Betriebseinheiten erfasst. Deshalb berechnet man zuerst die Betriebsdichte:

$$\rho = \rho_N \frac{1,013 + p}{1,013} \cdot \frac{273}{273 + T} \quad (2.2)$$

(ρ_N = Normdichte)

und dann den Durchfluss in Betriebseinheiten:

$$q_v = \frac{1}{\rho} \cdot q_m \text{ oder } q_v = q_n \frac{\rho_N}{\rho} \quad (2.3)$$

q_m = Massedurchfluss in kg/h

q_n = Normdurchfluss in m³/h

Aufgrund der Tatsache, dass ein Wirbel-Durchflussmesser einen Störkörper im Inneren hat, erzeugt dieser einen Druckabfall, der abhängig von der Durchflussrate ist (Bild 2-32).

Beispiel: 425 mbar

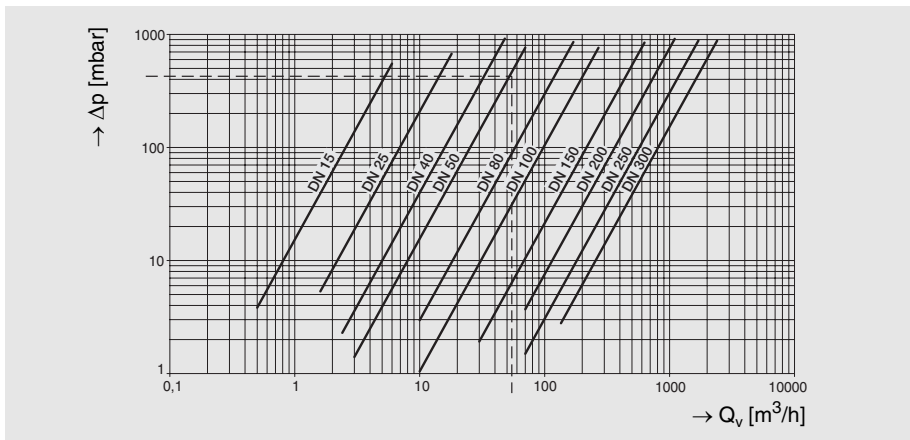


Bild 2-32: Druckverluste bei Wasser, DIN-Ausführung

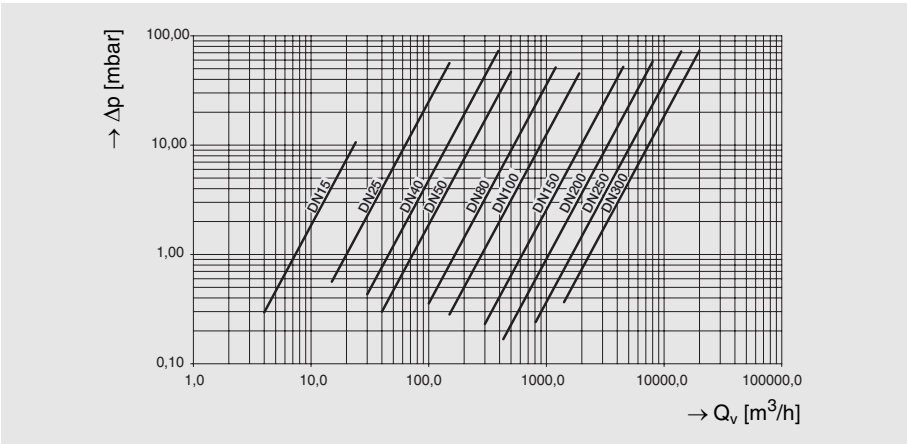


Bild 2-33: Druckverluste bei Luft (20 °C, 1,013 bar), DIN-Ausführung

Für die Sattdampfmessung ist im Messumformer ein spezielles Programm integriert, wobei in einem Untermenü Sattdampftabellen zur Korrekturberechnung abgelegt sind. Durch die integrierte Temperaturmessung wird die Messung mit minimalstem Aufwand realisiert. Das Masse-Durchflusssignal steht am Analogausgang direkt zur Verfügung.

Technische Daten	
Temperaturgrenzen	-55...400 °C (Messmediumtemperatur) -55...70 °C (Umgebungstemperatur)
Maximal möglicher Druck	160 bar
Messwertabweichung	≤ 1 % vom Messwert bei Gasen, Dampf ≤ 0,75 vom Messwert bei Flüssigkeiten
Messmediumberührende Werkstoffe	1.4571, Option Hastelloy-C
Explosionsschutz	ATEX / IECEx II 2 G Ex ib II C T4 ATEX / IECEx II 2 G Ex d II C T6 ATEX / IECEx II 2D T 85 °C...T _{med} IP 67 FM Class I Div1, Gruppe A, B, C, D

Einbau des Messwertaufnehmers

Die folgenden Empfehlungen sollten bei der Installation des Messwertaufnehmers in die Rohrleitung beachtet werden.

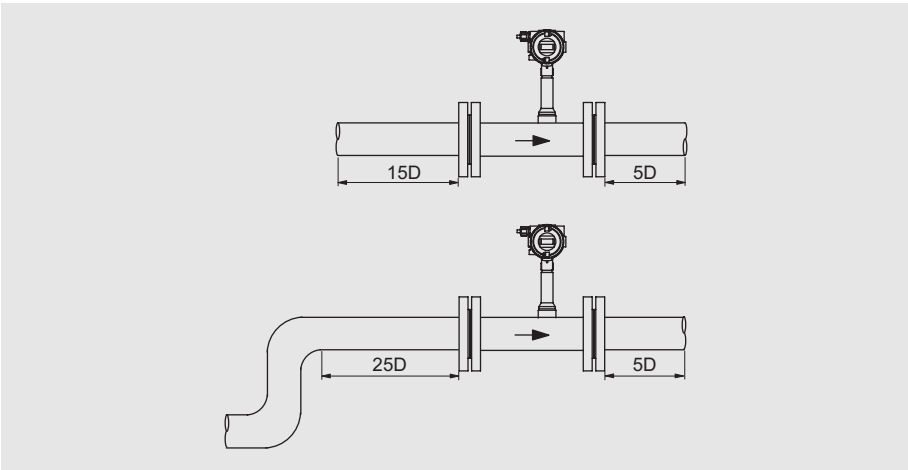


Bild 2-34: Einlauf- und Auslaufstrecken

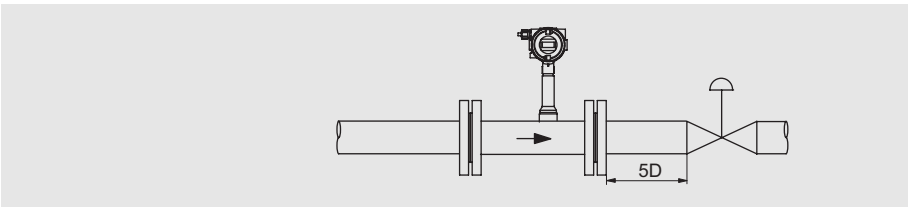


Bild 2-35: Regelventil-Einbauort

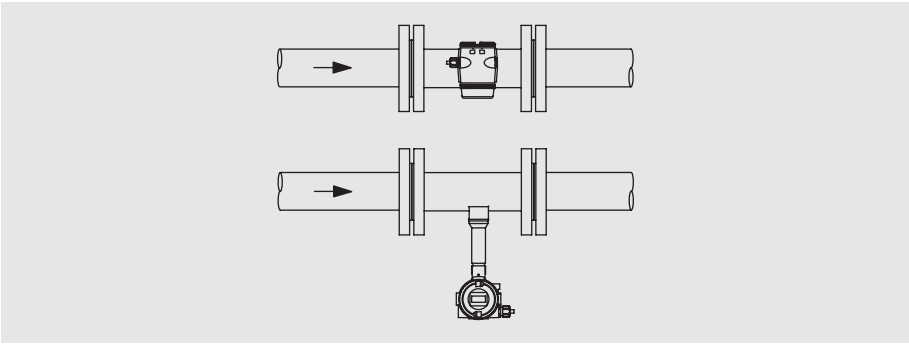


Bild 2-36: Einbaulage bei hohen Temperaturen, Messmediumtemperatur $> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

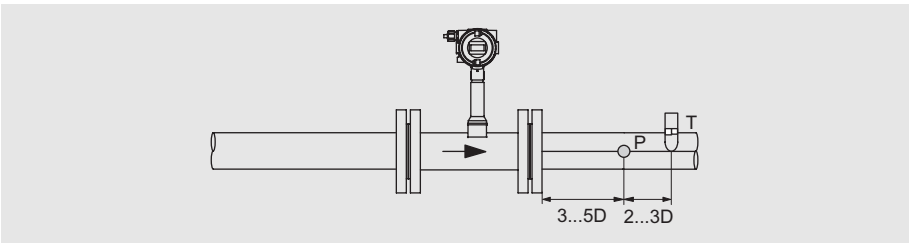


Bild 2-37: Anordnung von Druck- (p) und Temperaturmessstellen (T)

2.1.6 Drall-Durchflussmesser

Im Eintritt eines Gerätes befindet sich ein Leitkörper, der in seiner Form einem feststehenden Turbinenrad entspricht. Dadurch wird das Messmedium zur Rotation gezwungen. In einer Art Schraubenbewegung fließt das Messmedium durch das Messrohr des Drall-Durchflussmessers.



Bild 2-38: Schnittbild des Drall-Durchflussmessers

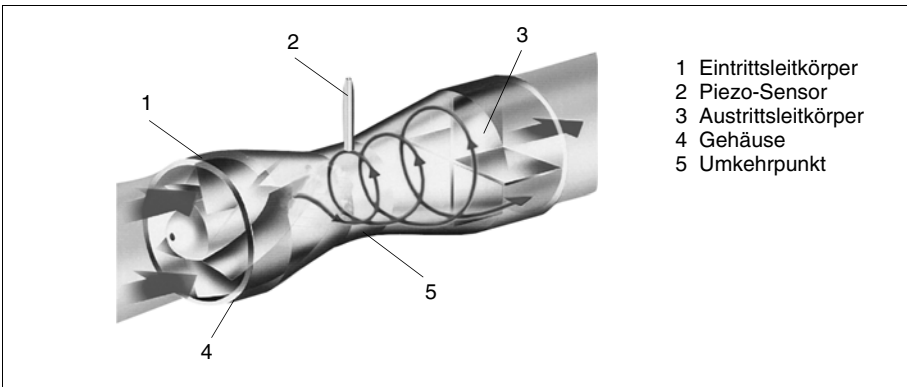


Bild 2-39: Strömungsverlauf im Drall-Durchflussmesser

Im zylindrischen Abschnitt des Messrohres stabilisiert sich der Drall. Eine Querschnittsbetrachtung in diesem Teil zeigt, dass die Rotationsgeschwindigkeit an der Rohrwand relativ klein ist und zur Rohrachse zunimmt, bis sich in der Rohrmitte der stabile Wirbelkern ausbildet. Beim Übergang der Strömung in den sich erweiternden Teil des Rohres wird der Wirbelkern ausgelenkt, und zwar dadurch, dass es im erweiterten Bereich zur Rückströmung kommt.

Der Wirbelkern führt eine schraubenförmige Sekundärrotation aus, deren Umlauffrequenz dem Durchfluss in weiten Grenzen linear proportional ist. Diese Sekundärrotation wird mit einem Piezo-Sensor erfasst. Der Sensor nutzt die beim Umlauf entstehenden Druckunterschiede zur Impulserfassung.

Beim Drall-Durchflussmesser werden die gleichen Sensoren wie beim Wirbel-Durchflussmesser verwendet. Die Wirbelfrequenz liegt zwischen 1 und 2000 Hz; höhere Frequenz bedeutet größeren Durchfluss.

Der Messumformer wandelt das Sensorsignal in weiterverarbeitbare Signale um. Es werden dieselben Messumformer wie beim Wirbel-Durchflussmesser eingesetzt.



Bild 2-40: Kompakte Bauform: FS4000-ST4

Bild 2-41: Getrennte Bauform: FS4000-SR4

Mit dem Drall-Durchflussmesser können Durchflussmessungen von Flüssigkeiten, Gasen und Dampf durchgeführt werden.

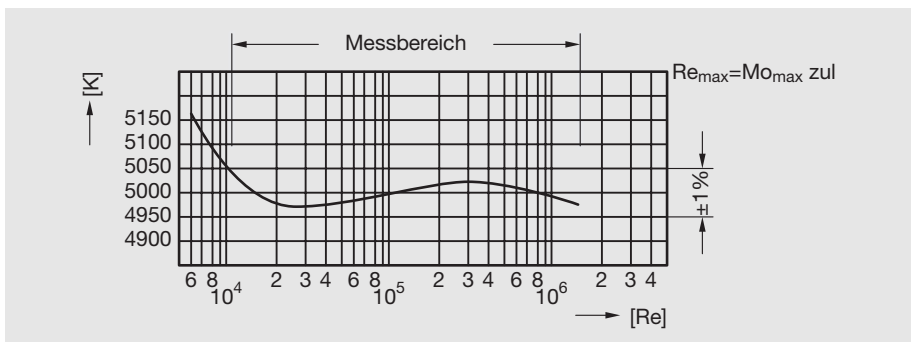


Bild 2-42: Kalibrierkurve eines Drall-Durchflussmessers

Bild 2-42 zeigt die typische Kalibrierkurve eines Drall-Durchflussmessers. Auf der Ordinaten ist der K-Faktor in Impulse pro Volumeneinheit aufgetragen als Funktion der Reynolds-Zahl auf der Abszisse. Diese halbdimensionslose Darstellung ist deswegen sinnvoll, weil die messmediumabhängigen Größen durch die Reynolds-Zahl ausgedrückt werden. So lässt sich beispielsweise erklären, dass der Messbereichsanfang bei größerer Viskosität nach oben wandert und damit die lineare Messspanne verkleinert. Natürlich kann man auch im nichtlinearen Bereich Messwerte erfassen. Je nach Nennweite sind Viskositäten bis 30 m Pas zulässig.

Jedes Gerät hat eine eigene Kalibrierkurve, die als konstante Eigenschaft des Gerätes gilt; sie würde sich nur dann ändern, wenn es in der Messzone mechanische Verformungen gibt. Bei anwendungsbezogen verkleinerten Messspannen lässt sich eine bessere Messgenauigkeit als für die Gesamtspanne mit ± 0,5 % v. M. erzielen.

Durch eine 5-Punkte-Linearisierung der Kalibrierkurve im DSP-gesteuerten Messumformer wird eine Genauigkeit von 0,5 % des Messwertes bei Flüssigkeiten, Gasen und Dampf erreicht.

Der besondere Vorteil eines Drall-Durchflussmessers gegenüber anderen Systemen besteht darin, dass sehr geringe Ein- und Auslaufstrecken erforderlich sind. Zur Sicherstellung der angegebenen kleinen Messunsicherheit werden Ein- und Auslaufstrecken von 3D/1D empfohlen.

Nennweite		Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Gas $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ $\eta = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
DN	inch	Messspanne [m³/h]	Messspanne [m³/h]
15	½	0,1...1,6	2,5...16
20	¾	0,2...2	2,5...25
25	1	0,4...6	5...50
32	1¼	0,8...10	7...130
40	1½	1,6...16	12...200
50	2	2,5...25	18...350
80	3	3,5...100	60...850
100	4	5,0... 50	65...1500
150	6	15,0...370	150...3600
200	8	25...500	200...5000
300	12	100...1000	400...10000
400	16	180...1800	1000...20000

Tab. 2-2: Drall-Durchflussmesser, Messbereiche in m³/h (qv)

Die Werte in der Tabelle dienen als Anhaltspunkte. Die physikalisch tatsächlich erreichbaren Messanfänge hängen in erster Linie von der Betriebsdichte bzw. der Viskosität des Messmediums und dem (Nicht-) Vorhandensein von Vibrationen und / oder Pulsation ab. Die Messbereiche, bei denen die spezifizierte Genauigkeit erreicht

wird, hängt von einer minimal erforderlichen Reynoldszahl ab, da unterhalb dieser Zahl kein linearer Zusammenhang zwischen Wirbelfrequenz und Fließgeschwindigkeit hergestellt werden kann.

Geräteauswahl

Drall-Durchflussmesser sind in den Nennweiten DN 15...DN 400 lieferbar. Tab. 2-2 enthält die zugehörigen Messbereiche. Bei Flüssigkeitseinsatz erreicht man eine maximale Fließgeschwindigkeit von 6 m/s, bei Gasen von maximal 50 m/s.

ABB stellt kostenlos Hilfsmittel zur Verfügung, die zur Auswahl und Auslegung der für eine Messaufgabe geeigneten Messgeräte dienen, aber auch Unterstützung für Bestellungen bieten.

Beim Einsatz in Flüssigkeiten ist darauf zu achten, dass Kavitation vermieden wird. Deshalb muss ein genügend großer Überdruck in der Messzone herrschen. Sicherheitshalber sollte folgende Überprüfung stattfinden:

$$p_2 \geq 1,3 \cdot p_D + 2,6 \cdot \Delta p$$

p_2 = Statischer Überdruck hinter dem Gerät

p_D = Dampfdruck der Flüssigkeit bei Betriebstemperatur

Δp = Druckverlust (Diagramm)

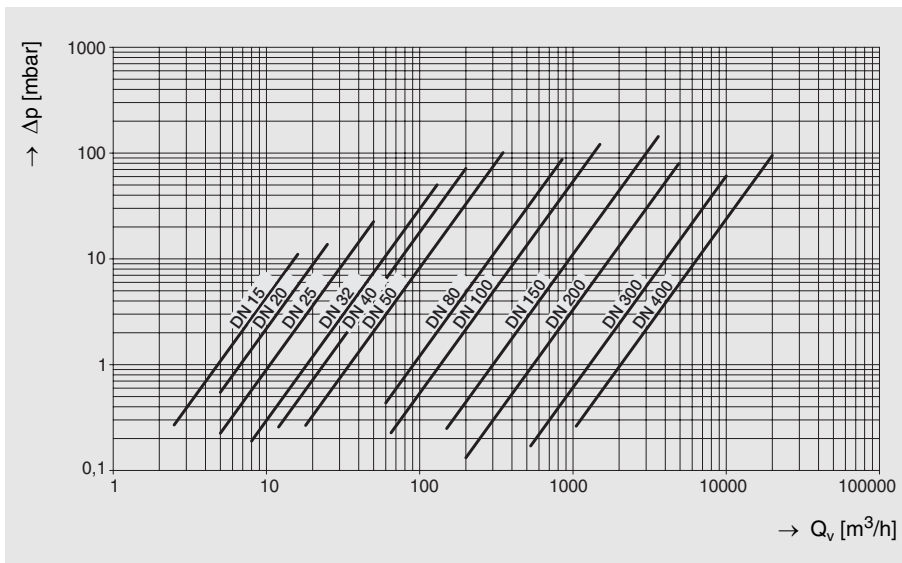


Bild 2-43: Druckverluste bei Luft (22 °C; 1013 mbar, $\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$)

Beispiel: 300 mbar

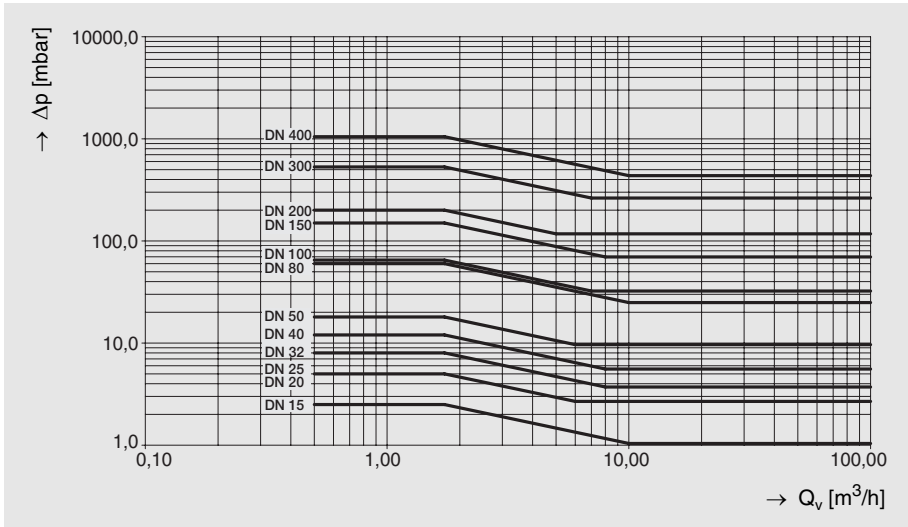


Bild 2-44: Druckverluste bei Wasser (20 °C, 1013 mbar, $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$)

Bei der Auswahl von Geräten für die Messungen von Gasen ist die Umrechnung auf Betriebswerte gefordert.

$$\rho = \rho_N \frac{1,013 + p}{1,013} \cdot \frac{273}{273 + T} \quad (2.4)$$

ρ = Betriebsdichte (kg/m^3)

ρ_N = Normdichte (kg/m^3)

p = Betriebsdruck (bar)

T = Betriebstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

q_v = Betriebsdurchfluss (m^3/h)

q_N = Normdurchfluss (m^3/h)

$$q_v = q_N \frac{\rho_N}{\rho} \quad (2.5)$$

Mit dem Messumformer kann diese Berechnung automatisch erfolgen.

Messumformer

Die beim Wirbel-Durchflussmesser verwendeten und dort beschriebenen Messumformer werden auch beim Drall-Durchflussmesser eingesetzt.

Technische Daten	
Temperaturgrenzen	-55...280 °C (Messstofftemperatur) -55...70 °C (Umgebungstemperatur)
Maximal möglicher Druck	40 bar
Messwertabweichung	0,5 % vom Messwert
Messmediumberührte Werkstoffe	1.4571 (Hastelloy C)
Explosionsschutz	ATEX / IECEx II 2 G Ex ib II C T4 ATEX / IECEx II 2 G Ex d II C T6 ATEX / IECEx II 2D T 85 °C...T _{med} IP 67 FM Class I Div1, Gruppe A, B, C, D

Installation des Messwertaufnehmers

Die folgenden Empfehlungen sollten bei der Installation des Messwertaufnehmers in die Rohrleitung beachtet werden.

Es sind keine Ein- und Auslaufstrecken erforderlich, falls die Kurvenradien von einfachen oder doppelten Rohrbögen im Einlauf oder Auslauf des Drall-Durchflussmessers größer als $1,8 \times D$ sind.

Für im Auslauf eingesetzte geflanschte Reduzierung nach DIN 28545 ($\alpha/2 = 8^\circ$) sind keine zusätzlichen Ein- und Auslauf-Rohrstrecken erforderlich. Bild 2-45 zeigt empfohlene Ein- und Auslaufstrecken für verschiedene Randbedingungen am Einbauort.

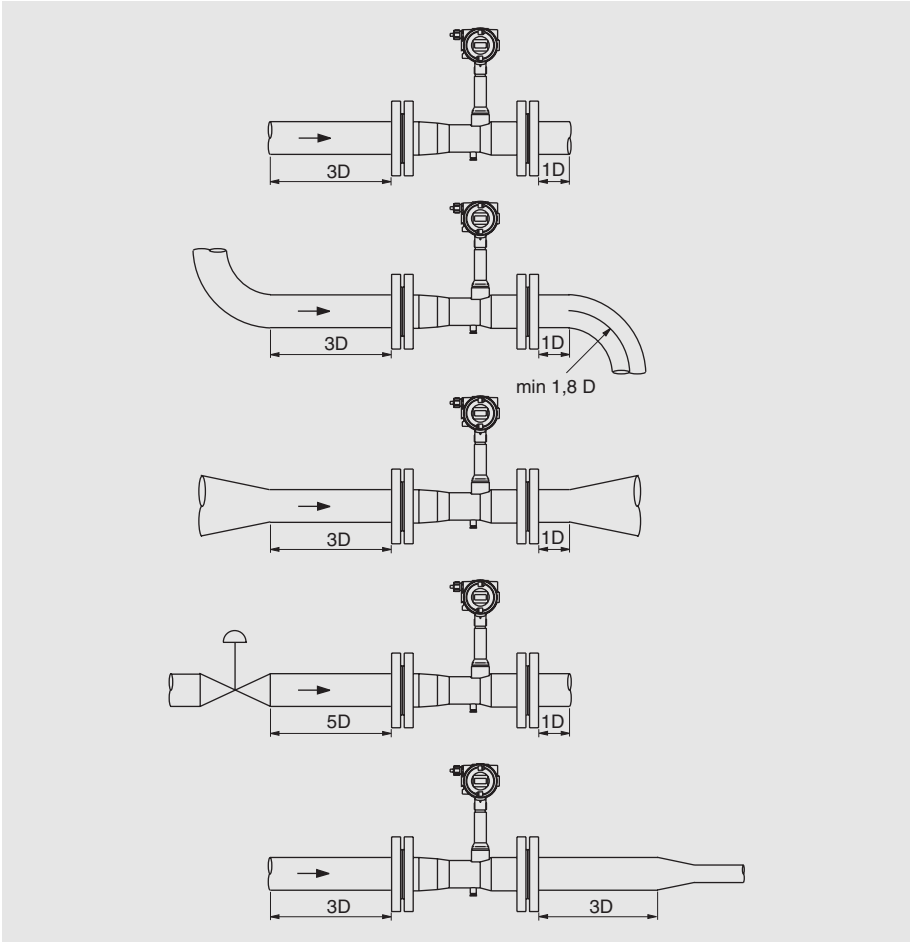


Bild 2-45: Ein- und Auslaufstrecken

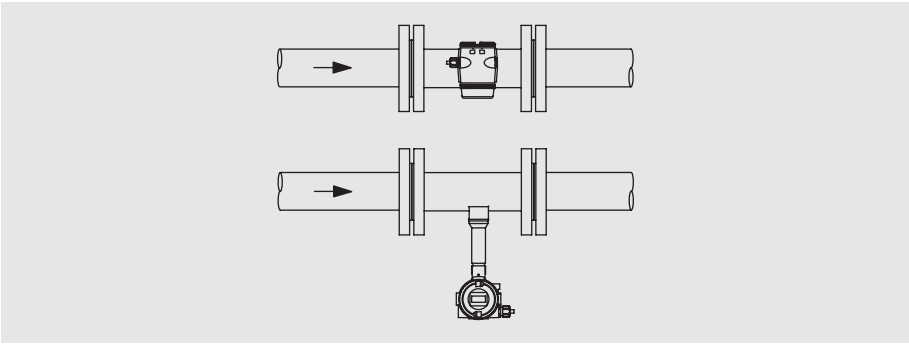


Bild 2-46: Einbaulage bei hohen Messmediumtemperaturen $> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Multivariable Geräte

Geräte, die mehr als eine physikalische Größe erfassen, werden auch als multivariable Messgeräte bezeichnet. Sie können optional mit einem Pt 100 zur integrierten Temperaturmessung direkt im Sensor ausgerüstet werden.

Zur Umrechnung auf Norm- und Masseeinheiten kann die Temperaturmessung unter Umständen völlig ausreichend sein, z. B. bei Satteldampf oder bei Gasen, wenn der Druck konstant gehalten werden kann.

Kompensation von Prozesseinflüssen

Integrierte Temperaturmessung

Die Erfassung von Temperatur und Durchfluss am gleichen Ort bietet erhebliche Vorteile:

- Hohe Genauigkeit durch günstige Positionierung des Temperaturfühlers
- Keine Verdrahtung
- Kurze Ansprechzeit

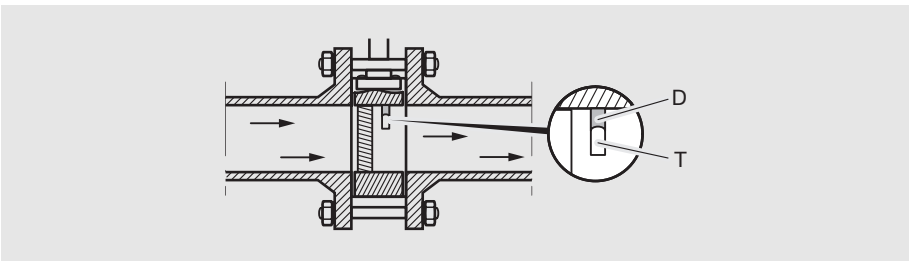
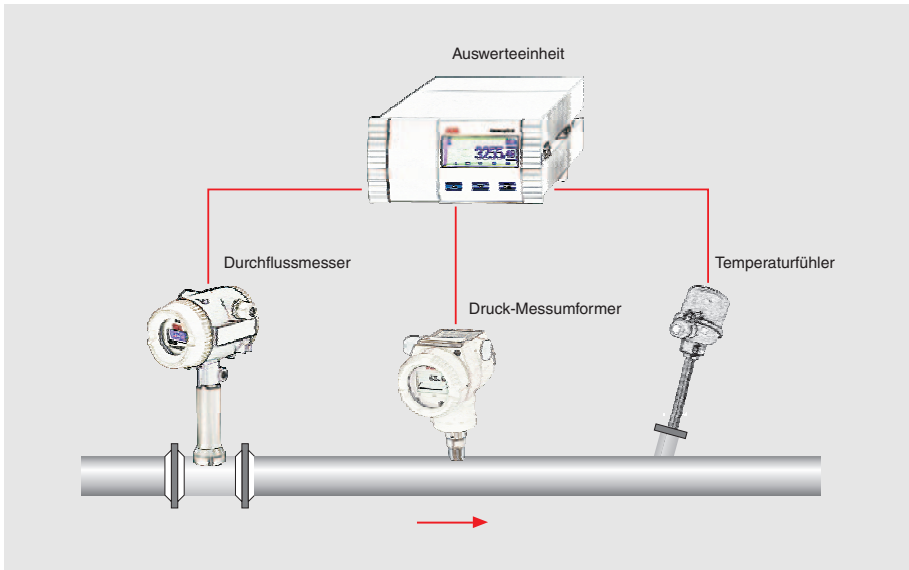


Bild 2-47: Sensor für Durchfluss (D) und Temperaturmessung (T)

Druck- und Temperaturkompensation

Sind die Prozessbedingungen zusätzlich durch Druckschwankungen wechselhaft oder handelt es sich um überhitzten Dampf, reicht die integrierte Temperaturmessung nicht aus, um den Gasdurchfluss in Masse- oder Normeinheiten bzw. den Dampf-Masse-Durchfluss exakt darstellen zu können. Hier sind Wirbel- und Drall-Durchflussmesser in Verbindung mit Auswerteeinheiten für den Einsatz prädestiniert. Die Speisung erfolgt über die Auswerteeinheiten.

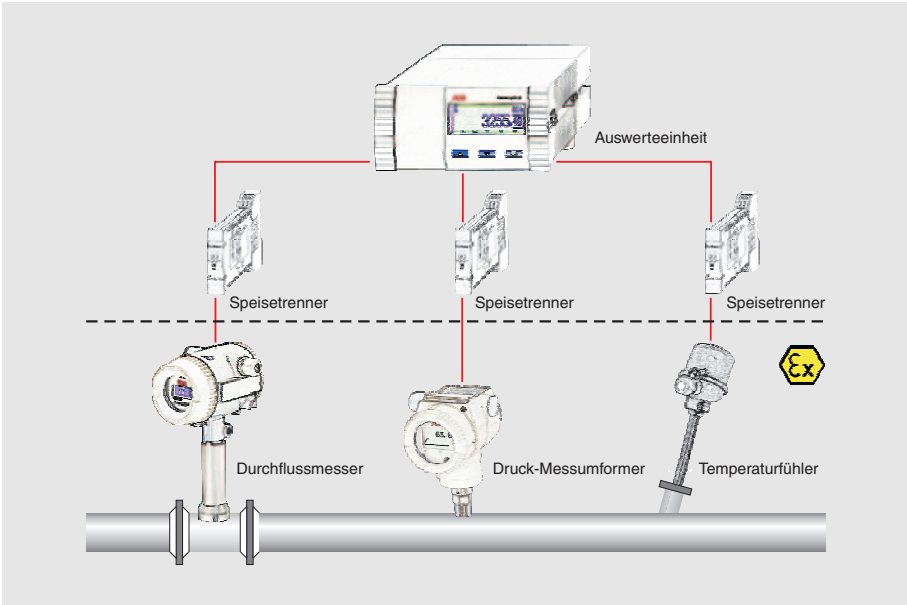


Eingesetzte Komponenten

- Wirbel- oder Drall-Durchflussmesser
- Messumformer für Absolutdruck
- Widerstandsthermometer, optional mit eingebautem Messumformer
- Auswerteeinheit

Messung im explosionsgefährdeten Bereich

Die Signale müssen durch Speisetrenner eigensicher gespeist werden.



2.2 Durchflussmesser

2.2.1 Durchflussmesser nach dem Wirkdruck-Messverfahren

Unter Kapitel 1.2.5 sind die Beziehungen zwischen dem an einer Rohreinschnürung entstandenen Druckabfall Δp und dem Volumendurchfluss q_v dargestellt.

Dieses physikalische Phänomen ist die Grundlage für die Wirkdruckmessung, bei der Drosselgeräte in der voll durchströmten Rohrleitung die Druckdifferenz oder den Wirkdruck hervorrufen.

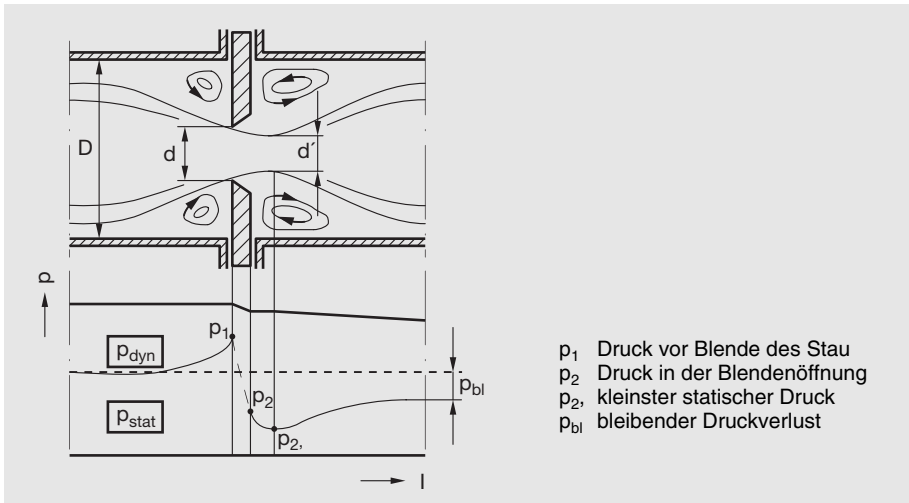


Bild 2-48: Druckverlauf an einem Drosselgerät

Bild 2-48 zeigt die Umwandlung der Energieformen. In der Drosselstrecke nimmt als Folge der Geschwindigkeitserhöhung die kinetische Energie (dynamischer Druck p_{dyn}) zu, die Druckenergie (statischer Druck p_{stat}) ab. Der Wirkdruck ergibt sich dann aus der Differenz zwischen dem statischen Druck vor der Drossel und dem in der Drossel bzw. kurz hinter dieser. Hinter dem Drosselorgan kommt es infolge der Geschwindigkeitsabnahme zur Rückwandlung der Energieformen, vermindert um den Energie- oder Druckverlust p_{bl} .

Das Wirkdruck-Messverfahren ist eine universell anwendbare Methode für die Durchflussmessung. Wirkdruck-Messgeräte arbeiten bei Gasen und Flüssigkeiten selbst bei extrem hohen Drücken und Temperaturen. Die Geräte wurden in jahrzehntelanger Forschungsarbeit optimiert und die Ergebnisse in Normungsverfahren vereinheitlicht. Maßgebend ist die Norm DIN EN ISO 5167, mit deren Hilfe die exakten Berechnungen durchgeführt werden können. Diesen Quellen entnimmt man die Durchflussgleichungen für Masse- und Volumendurchfluss:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho} \quad (2.6)$$

$$q_v = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (2.7)$$

- C* Durchflusskoeffizient
- β* Durchmesser Verhältnis
- ε* Expansionszahl (nur für kompressible Medien)
- d* Innendurchmesser der Blende
- Δp* Wirkdruck
- ρ* Dichte des Messmediums vor der Blende bei Betriebstemperatur
- q_m* Massedurchfluss
- q_v* Volumendurchfluss

Der Durchflusskoeffizient *C* ist abhängig vom Durchmesser Verhältnis *β*, von der Reynoldsschen Zahl *Re*, von der Art des Drosselorgans und der Druckentnahme und schließlich von der Reibung durch die Rohrrauigkeit. Die empirisch ermittelten Werte sind in Kurven und Tabellen festgehalten. Die Expansionszahl *ε* berücksichtigt die Dichteänderung von Gasen und Dämpfen durch den Druckabfall innerhalb der Drosselstrecke. Auch für *ε* gibt es Tabellen und Kurven. Die VDI/VDE-Richtlinien 2040 ergänzen die genannten Berechnungsunterlagen.

Bauform der Drosselgeräte

Unterschiedliche Bauformen gestatten eine optimale Anpassung an die Betriebsbedingungen und an die Anforderungen des Betreibers. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist beispielsweise der Druckverlust, der in der Regel möglichst gering sein soll. Oder die Länge der geraden Ein- und Auslaufstrecken, die bei Venturi-Rohr relativ kurz sein darf. Sicherlich sind auch die Kosten von entscheidender Bedeutung.

Folgende Drosselgeräte wurden in die Norm aufgenommen.

Blenden	Blende mit Eck-Druckentnahme Blende mit D- und D/2-Druckentnahme Blende mit Flansch-Druckentnahme
Düsen	ISA-1932-Düse Langradius-Düse
Venturi-Rohr	klassisches Venturi-Rohr Venturi-Düse

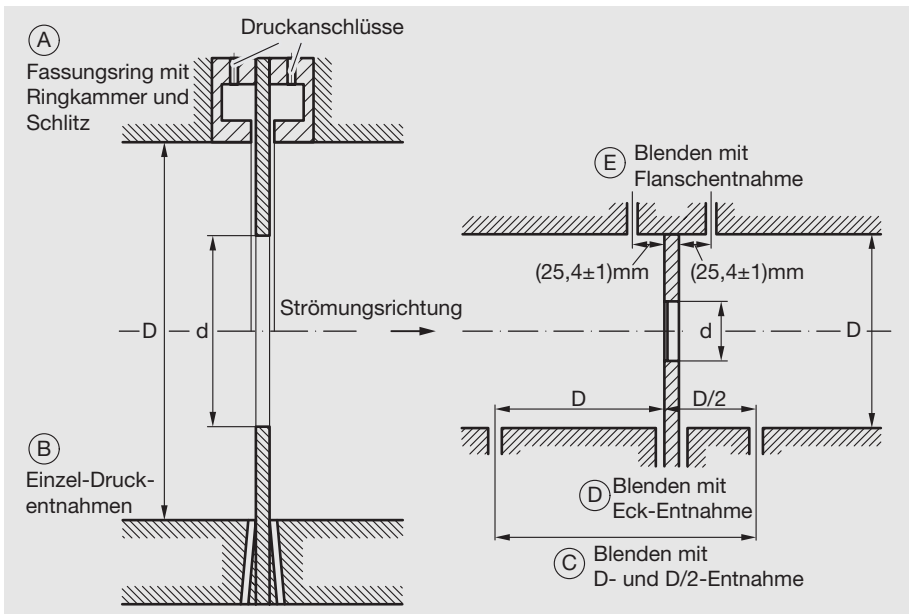


Bild 2-49: Blendenformen

Die preisgünstigste Version ist die Blende. Bild 2-49 zeigt die Eck-Druckentnahme in (B,D) als Einzel-Druckentnahme und in (A) über Ringkammern. Die D- und D/2-Entnahme ist bei (C) zu sehen. Die Flansch-Druckentnahme (E) mit Nennabständen von 25,4 mm zur Blende erfolgt durch Bohrungen durch die Flansche. Sie wird häufig kombiniert mit der Ringkammer (A).

Düsen haben geringere Druckverluste, verlangen aber eine präzise Fertigung. Bild 2-50 (B) zeigt die ISA 1932 Düse und bei (A) deren Einbau mit Eck-Druckentnahme (unten) und mit Ringkammer (oben). Langradius-Düsen (C, D) gibt es für kleine und große Durchmesser. Einbau wie bei (A) gezeigt.

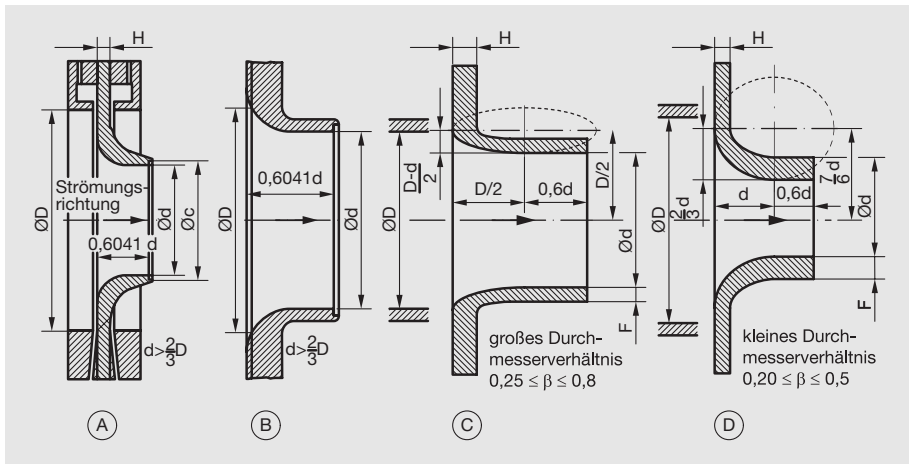


Bild 2-50: Düsenformen

Venturi-Rohre und Venturi-Düsen zeichnen sich durch einen sehr kleinen Druckverlust aus. Beide sind auch in verkürzter Bauform verfügbar. Dass der Druckverlust bei der Beurteilung der verschiedenen Drosselgeräte eine wichtige Rolle spielt, lässt sich anhand des Diagramms (Bild 2-52) erklären.

Druckverlust bedeutet Energieverlust und größere Pumpenleistung.

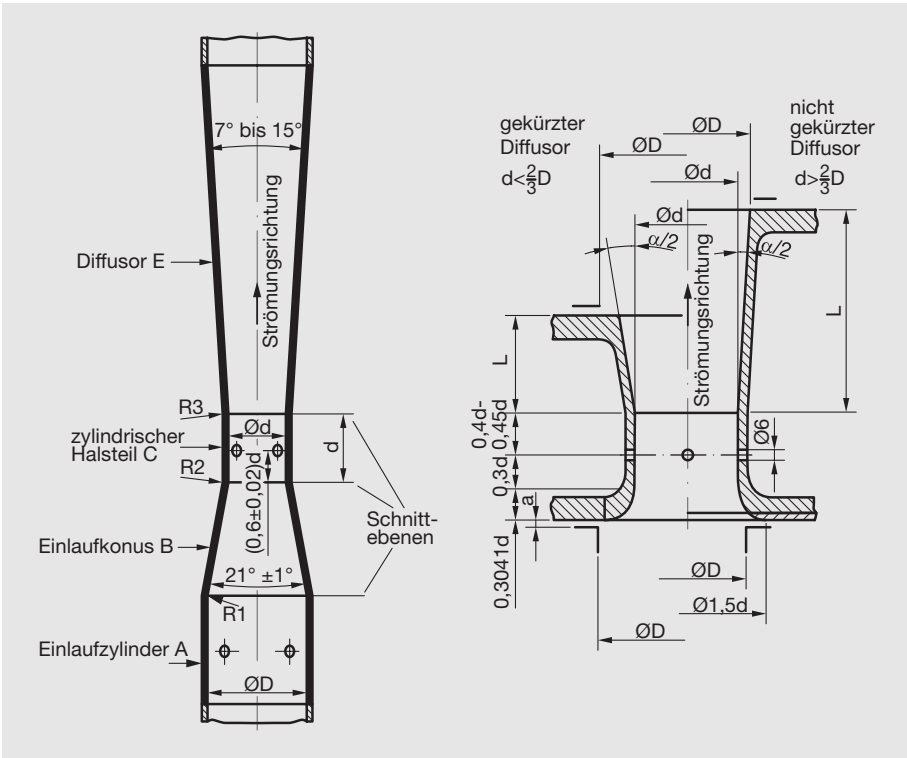


Bild 2-51: Klassisches Venturi-Rohr und Venturi-Düse

Vergleicht man die Spanne der Einsatzmöglichkeiten aus Tab. 2-3, so fällt die Universalität der Blenden auf, mit dem Nachteil des großen Druckverlustes. Wichtig bei der Blende ist die bleibende Kantenschärfe. Deshalb ist die Blende gegenüber Verschmutzung und Abrieb empfindlich.

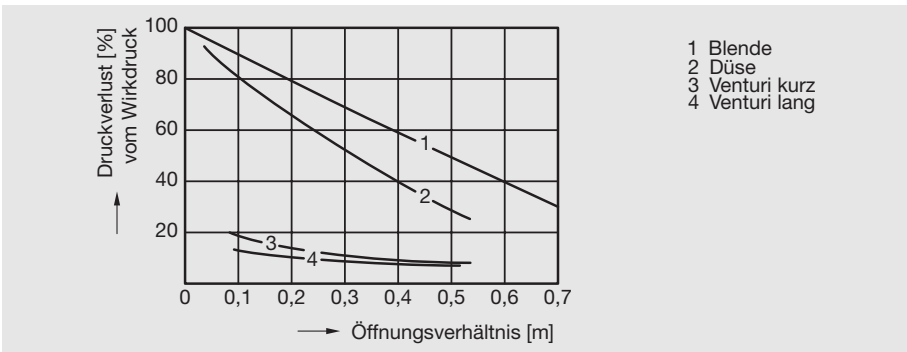


Bild 2-52: Bleibender Druckverlust bei verschiedenen Wirkdruckgebern

	Blenden			Düsen		Venturi	
	Eck- Druck- entnahme	Flansch- Druck- entnahme	D- und D/2- Druck- entnahme	ISA 1932	Lang- radius	Venturi- Rohr	Venturi- Düse
$d_{\min}$ [mm]	12,5	12,5	12,5	15	10	20	50
$D_{\min}$ [mm]	50	50	50	50	50	50	65
$D_{\max}$ [mm]	1000	760	760	500	630	1200	500
$\beta_{\min}$	0,23	0,20	0,20	0,3	0,2	0,3	0,32
$\beta_{\max}$	0,80	0,75	0,75	0,8	0,8	0,75	0,78
$Re_{D, \min}$	$5 \cdot 10^3$... $20 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$... $540 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$... $540 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	10^4	$2 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$
$Re_{D, \max}$	10^8	10^8	10^8	10^7	$2 \cdot 10^7$	10^6	$2 \cdot 10^6$

Tab. 2-3: Anwendungsgrenzen der Drosselgeräte

Es lässt sich leicht nachvollziehen, dass ein derart durchforschtes Sachgebiet wie die Wirkdruckmessung auch Sonderaufgaben erfüllen kann. So setzt man für Messmedien mit Feststoffanteilen Segmentblenden ein, die in der Messzone nur einseitig abblenden. Bei hochviskosen Messmedien kann man mit der Viertelkreisdüse auf kleinste Reynolds-Zahlen von 50 kommen. Düsen mit einem Öffnungsdurchmesser von 0,6 mm sind in der Lage, Flüssigkeitsdurchflüsse bis zu 2 l/h zu messen. Diese Düsen bilden mit dem Wirkdruck-Messumformer meistens eine Einheit. Und natürlich können die Tabellenwerte auch nach oben bis zu Nennweiten von 2000 und größer überschritten werden.

Anforderungen an den Einbau

Das Wirkdruck-Messverfahren kann nur bei eindeutigen Strömungsverhältnissen einwandfrei arbeiten. Ungleichmäßige Geschwindigkeitsprofile nach Strömungsstörungen verhindern die rotationssymmetrische Strömungseinschnürung im Drosselgerät und verändern dadurch den Wirkdruck. Deshalb muss das Drosselgerät zwischen zwei geraden zylindrischen Rohrstrecken eingebaut sein, in denen sich keine Hindernisse oder Rohrabweichungen befinden. Innerhalb dieser Rohrstrecke bildet sich ein messgerechtes Geschwindigkeitsprofil aus. Tab. 2-4 gibt die Empfehlungen nach DIN EN ISO 5167 für die erforderlichen Rohrstrecken wieder.

	Blenden, Düsen, Venturi-Düsen				Klassisches Venturi-Rohr		
	Durchmesser Verhältnis β				Durchmesser Verhältnis β		
	0,2	0,4	0,6	0,8	0,3	0,5	0,75
Einfacher 90°-Krümmer oder T-Stück	10	14	18	46	0,5	1,5	4,5
2 oder mehr 90°-Krümmer in verschiedenen Ebenen	(34)	(36)	48	80	0,5	(8,5)	(29,5) ¹⁾
Diffusor von 0,5 D auf D über eine Länge von 1...2 D	16	16	22	54			
Diffusor von 0,75 D auf D über eine Länge von 1 D					1,5	2,5	6,5
Schieber voll geöffnet	12	12	14	30	1,5	3,5	5,5
Auslaufseite	4	6	7	8	4	4	4
¹⁾ Derartige Störungen können auch nach 40 D nachwirken, daher die Angaben in Klammern.							

Tab. 2-4: Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken. Zahlenwerte als Vielfache von D

Ein strömungstechnisch schwieriger Fall ist die Drallströmung, bei der sich das Messmedium wendelförmig durch die Rohrleitung bewegt. Die empfohlenen Leitungslängen reichen bei weitem nicht aus für eine Strömungsberuhigung. Deshalb muss hier ein Strömungsgleichrichter eingesetzt werden. Mit einem Strömungsgleichrichter kann man auch die empfohlenen Rohrlängen bei anderen Störern verkürzen.

Messanordnungen

Die komplette Durchflussmesseinrichtung besteht aus folgenden Teilen:

- Drosselgerät als Wirkdruckgeber
- Anschlussarmatur für das Drosselgerät mit Schutzeinrichtungen
- Wirkdruckleitung
- Anschlussarmatur für Wirkdruck
- Wirkdruck-Messumformer
- Kondensgefäß
- Speisegerät für Energieversorgung

Ausrüstung der Messeinrichtung und Anordnung der Bauteile werden durch den Anwendungsfall bestimmt. Die Mindestforderung für jede Messstelle ist die Wirkdruckleitung als Druckübermittlungsorgan zwischen Drosselgerät und Differenzdruck-Messumformer. Beide Wirkdruckleitungen bekommen je ein Absperrventil (b) hinter dem Druckanschluss. Dem Schutz des Differenzdruck-Messumformers (e) dient eine Ventilkombination (d) aus drei bzw. fünf Ventilen vor dem Messumformer, die diesen absperrten und vor einseitiger Druckaufschaltung schützen soll.

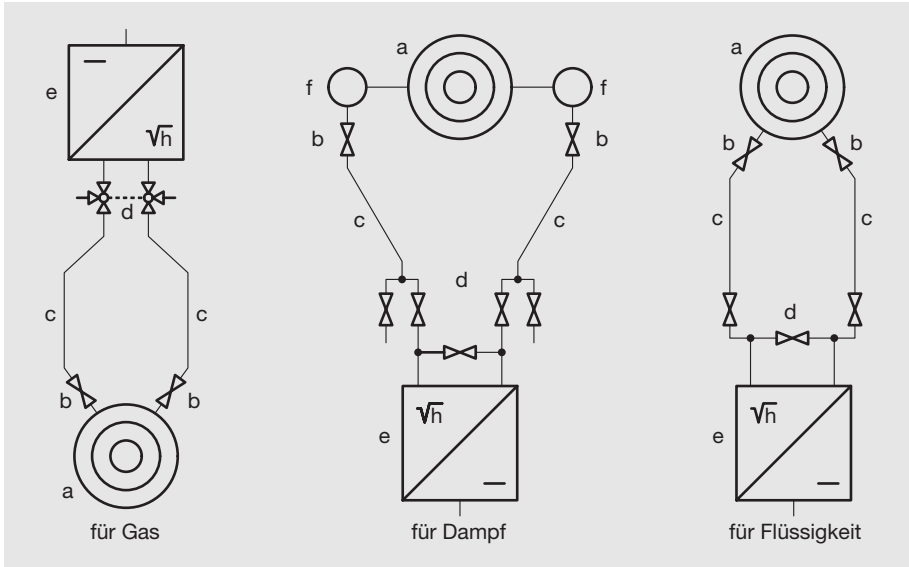


Bild 2-53: Wirkdruck-Messanordnung

Wird die Wirkdruckmessung zur Gasmessung eingesetzt, so ist der Messumformer oberhalb anzubauen, damit eventuelle Feuchtigkeitsanteile nicht in die Wirkdruckleitung gelangen können. Umgekehrt sollen Gasanteile bei der Flüssigkeitsmessung nicht in die Wirkdruckleitung geraten. Deshalb ist hier der Wirkdruckgeber oberhalb aufzubauen. Für die Dampfmessung füllt man die Wirkdruckleitung mit Kondensat, das im Kondensgefäß (f) entsteht.

Es gibt eine Reihe von Messanordnungen, die auch außergewöhnliche Einsatzfälle berücksichtigen. So zum Beispiel verhindern Trenngefäße, dass aggressive Messmedien in den Messumformer gelangen. Die VDE/VDI-Richtlinie 3512 liefert die Anweisungen für derartige Sonderfälle.

Wirkdruck-Messumformer

Der Wirkdruck-Messumformer oder Differenzdruck-Messumformer hat folgende Aufgaben:

- er soll einem hohen statischen Druck, der in der Rohrleitung herrscht, widerstehen,
- er soll sehr empfindlich sein, um bei kleinstem Wirkdruck zu arbeiten, denn mit dem Wirkdruck steigt der Druckverlust,
- er soll gegenüber aggressiven Messmedien chemisch resistente Werkstoffe haben,
- er soll den Wirkdruck in ein elektrisches analoges oder digitales Einheitssignal wandeln,
- er soll radizieren und damit eine direkte, lineare Proportionalität zwischen Durchfluss und Ausgang erreichen,
- er soll einfach zu bedienen sein und selbstüberwachende Funktion haben,
- er ist kommunikationsfähig im Sinne der SMART- oder Feldbustechnik (PROFIBUS PA, FOUNDATION Fieldbus),
- er ist störfest (EMV) und explosionsgeschützt.

Innerhalb der Reihe 2600T liefert ABB Geräte, die alle genannten Aufgaben erfüllen.

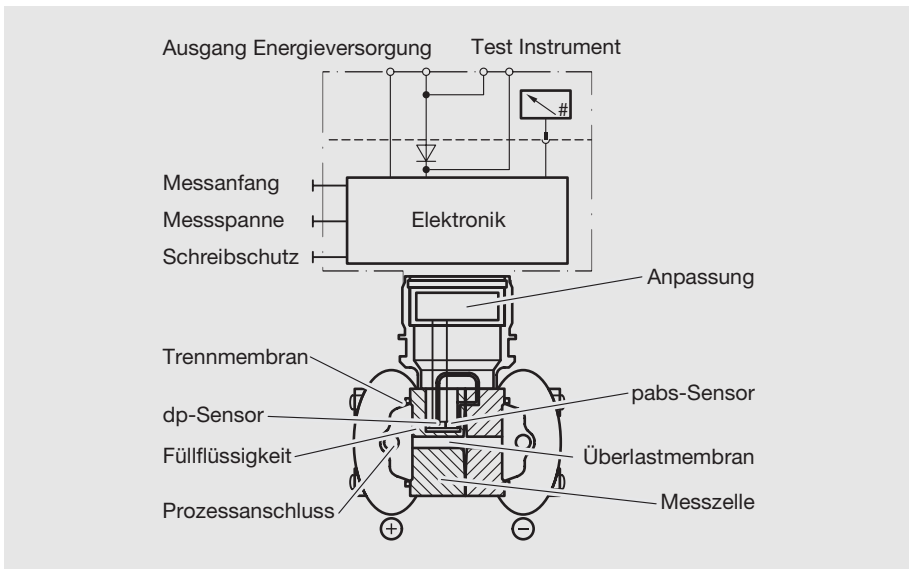


Bild 2-54: Funktionsschema eines Differenzdruck-Messumformers

Der Messumformer 266MST ist modular aufgebaut und besteht aus dem Messwerk mit integrierter Anpasseelektronik und der Elektronik mit Bedienteil.

Dieser Messumformer ist ein Multisensor-Gerät zur Messung von Differenzdruck und Absolutdruck. Die komplett verschweißte Messzelle ist ein Zweikammersystem mit innenliegender Überlastmembran und einem innenliegenden Silizium-Absolutdrucksensor sowie einem Silizium-Differenzdrucksensor. Der Absolutdrucksensor, der nur vom pluseitigen Druck beaufschlagt wird, misst den Prozessdruck und liefert die Daten für eine fast vollständige Kompensation des statischen Druckeinflusses. Über ein Kapillarrohr ist der Differenzdrucksensor mit der Minusseite der Messzelle verbunden. Der anstehende Differenzdruck (Δp)/Absolutdruck (p_{abs}) wird über die Trennmembranen und die Füllflüssigkeit auf die Messmembran des Silizium-Differenzdrucksensors übertragen.

Eine minimale Auslenkung der Siliziummembran verändert die Ausgangsspannung des Abgriffsystems. Diese druckproportionale Ausgangsspannung wird linearisiert, temperaturkompensiert und durch Anpasselektronik und Elektronik in ein elektrisches Signal 4...20 mA/HART, PROFIBUS PA oder FOUNDATION Fieldbus umgewandelt.

Damit einseitige Überlastungen bis zum vollen Nenndruck nicht zu einer Schädigung des Messwerkes führen, ist es mit einer Überlastmembran ausgestattet. Bei Differenzdrücken innerhalb der Messgrenzen hat die Überlastmembran keinen Einfluss auf die Messeigenschaften. Erst nach Überschreiten der Messgrenzen verschiebt sich die Überlastmembran aus der Mittelstellung bis die Trennmembran zur Anlage kommt. Der auf den Sensor wirkende Druck wird dadurch begrenzt.

Für die Bedienung „vor Ort“ steht eine Bedieneinheit zur Verfügung, die aus zwei Tastern zur Einstellung von Messanfang und Messende sowie einem Schreibschalter besteht. In Verbindung mit einem eingebauten LCD-Anzeiger ist der Messumformer, unabhängig von dem gewählten Kommunikationsprotokoll, komplett über die „örtliche Bedieneinheit“ von außen konfigurierbar und parametrierbar. Der kleinste Bereichsendwert ist 0,5 mbar, der größte 100 bar. Die Grundgenauigkeit liegt unter 0,04 % der eingestellten Spanne. Die messmediumberührten Teile werden in der Werkstoffauswahl dem chemischen Verhalten des Messmediums angepasst.



Bild 2-55: Differenzdruck-Messumformer 266MST

Wenn sich bei der Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren die Dichte des Messmediums durch Druck- und Temperaturschwankungen ändert, empfiehlt es sich, zumindest bei der Messung von Gas oder Dampf, zusätzlich Prozessdruck und -temperatur zu messen und eine rechnerische Zustandskorrektur durchzuführen. Dadurch erhält man auch bei schwankenden Betriebsgrößen eine zuverlässige Messung des Masse- bzw. Normvolumendurchflusses.

Auch für diese komplexe Aufgabe, die in der Vergangenheit durch den Einsatz je eines Differenzdruck-, Absolutdruck- und Temperatur-Messumformers und eines zusätzlichen Rechengerätes realisiert werden musste, stehen mit den multivariablen Messumformern 267CS oder 269CS Geräte zur Verfügung, die alle Messgrößen direkt erfassen und überdies auch die rechnerische Zustandskorrektur in einem einzigen Gerät durchführen.

Zur Differenzdruck- und Druckmessung wird die gleiche Messzelle verwendet, die bereits bei 266MST beschrieben wurde. Lediglich die Elektronik wurde erweitert, um auch die Prozesstemperaturmessung mit einem externen Temperaturfühler zu ermöglichen.

Bei der Zustandskorrektur wird nicht nur die Dichte für die aktuellen Prozessbedingungen berechnet. In Abhängigkeit vom verwendeten Wirkdruckgebertyp, der Reynoldszahl und des Durchmesserhältnisses, wird der Durchflusskoeffizient ermittelt, die thermische Ausdehnung von Rohrleitung und Wirkdruckgeber kompensiert und bei Gasen zusätzlich die Expansionszahl und die Realgasfaktoren mit den jeweils aktuellen Prozessbedingungen neu berechnet. Man spricht hier von einer dynamischen Zustandskorrektur, die ein Höchstmaß an Genauigkeit gewährleistet.

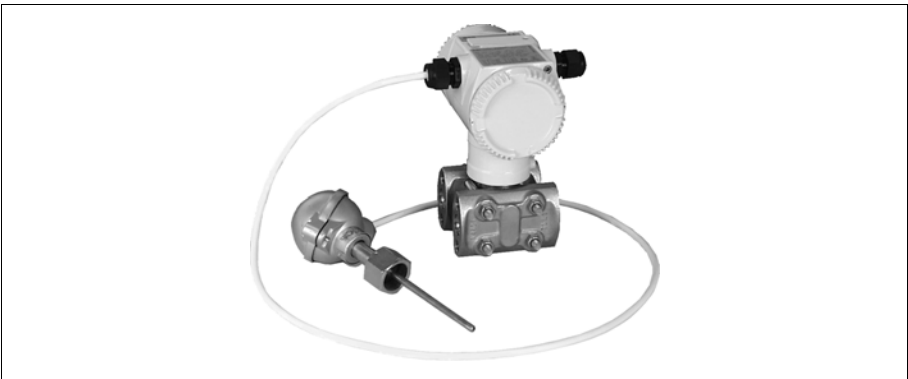


Bild 2-56: Multivariabler Messumformer 269CS

2.2.2 Kompaktblenden-Durchflussmesser

Das Konzept der Kompaktblenden-Durchflussmesser, wie dem OriMaster von ABB, wurde entwickelt, um den technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen bei der Realisierung einer messblendenbasierten Durchflussmessung gerecht zu werden.

Bei diesem neuen Ansatz sind folgende Komponenten der herkömmlichen Messung mit Messblenden in einem einzigen Durchflussmesser integriert:

- Blendeneinheit,
- Druckentnahmen,
- Anschlussblock mit 3-fach Ventilanschluss,
- Differenzdruck-Messumformer (optional als multivariabler Messumformer),
- Optionale integrierte Temperatureinheit für Durchflussberechnungen von Gas/Dampf.



Bild 2-57: Kompaktblenden-Durchflussmesser OriMaster FPD500

Der OriMaster wird in der Fabrik montiert und als einteiliges Gerät ausgeliefert. Auf diese Weise reduziert sich die Anzahl der Stellen, an denen Leckagen auftreten können, erheblich. Kundenseitig ist nur noch ein minimaler Installationsaufwand erforderlich. Durch die Beschränkung auf zwei Beta-Verhältnisse konnten außerdem die Konfiguration und die Berechnung stark vereinfacht werden.

Mit dem mitgelieferten Werkzeug lässt sich der OriMaster einfach und präzise in der Rohrleitung zentrieren, so dass eine höhere Genauigkeit erzielt wird. Nach der Werksmontage wird der OriMaster einer Druckprüfung unterzogen. Durch seine kompakte Bauweise und die reduzierte Anzahl potenzieller Leckagestellen bietet das Gerät eine verbesserte Langzeitstabilität.

Für eine einfache Volumendurchflussmessung ist der OriMaster mit einem Differenzdruck-Messumformer ausgestattet. Dieser hat ein Gehäuse komplett aus rostfreiem Stahl und eignet sich somit hervorragend für Anwendungen mit hohen Anforderungen. Für Applikationen, die eine Gas-, Massedurchfluss- bzw. Dampfberechnung erfordern, wird der OriMaster mit einem multivariablen Messumformer zur Messung von Differenzdruck und Temperatur angeboten. Damit erhält man einen einteiligen Masse-Durchflussmesser oder Durchflussmesser mit Volumenkorrektur. Für die Temperaturmessung wird entweder ein integriertes Temperaturelement oder ein konventioneller separater Fühler für die Rohrmontage verwendet.

2.2.3 Wedgemeter für kritische Anwendungen

Das Funktionsprinzip eines Wedgemeters ist höchst einfach und leicht zu verstehen. Wie in der nachstehenden Abbildung gezeigt, ist der Wedgemeter mit einem keilförmigen Strömungsbegrenzer ausgestattet, welcher den für den Durchfluss zur Verfügung stehenden Querschnitt verengt. Da sich die Strömung im Bereich des Strömungsbegrenzers staut, erhöht sich die Durchflussgeschwindigkeit. Dies führt zu einem Anstieg der kinetischen Energie des Messmediums. Aus dem Energieerhaltungssatz ergibt sich, dass jeder Anstieg der kinetischen Energie zwangsläufig zu einem entsprechenden Abfall der potenziellen Energie (statischer Druck) führen muss. Somit hat das Messmedium direkt vor dem Strömungsbegrenzer eine höhere potenzielle Energie (und einen höheren statischen Druck) als das Messmedium direkt hinter dem Strömungsbegrenzer. Mit Hilfe von zwei Druckentnahmestellen, jeweils vor und hinter dem Wedgemeter, lässt sich der Differenzdruck feststellen, der sich aufgrund des Ungleichgewichts der potenziellen Energie ergibt. Anhand des gemessenen Differenzdrucks kann dann der Volumendurchfluss ermittelt werden. Der durch die Strömungsbegrenzung entstehende Druckabfall wird teilweise hinter dem Wedgemeter ausgeglichen, da die kinetische Energie wieder in potenzielle Energie umgewandelt wird.

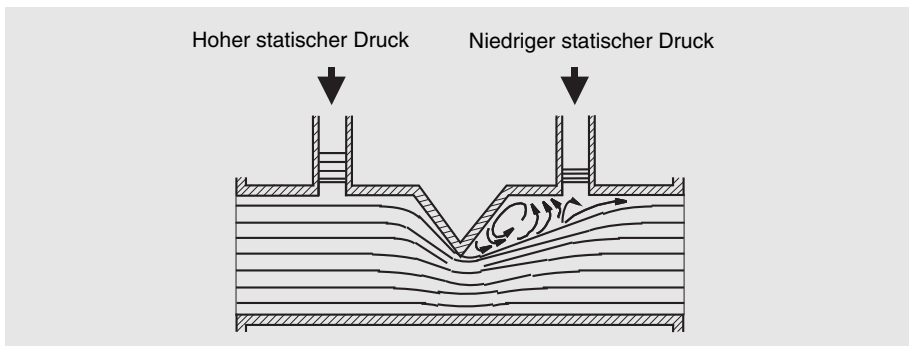


Bild 2-58: Prinzip eines Wedgemeters

Ein Wedgemeter stellt eine Verfeinerung einer Segmentblende dar. Während die Segmentblende die Durchflussöffnung abrupt verengt, geschieht dies beim Wedgemeter graduell. Dies bietet Vorteile gegenüber der Konstruktion einer Segmentblende, bei-

spielsweise eine höhere Erosionsbeständigkeit und die nur geringe Möglichkeit der Entstehung einer Sekundärphase. Die Erosionsbeständigkeit beruht darauf, dass der Strömungsbegrenzer auf der Einlaufseite konstruktiv abgeschrägt ist, so dass nicht gelöste Feststoffe im Medium nicht so stark aufprallen und daher die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung geringer ist.

Die Öffnung hinter dem Strömungsbegrenzer ist groß und ermöglicht das einfache Ableiten von eventuell entstandenen Sekundärphasen. Außerdem sorgen kleine Wirbel und Gegenströme für einen gewissen Selbstreinigungseffekt, so dass die Teile im Inneren des Elements sauber und frei von Ablagerungen bleiben.

Wedgemeter eignen sich für die präzise Durchflussmessung in laminaren Strömungen, Mischströmungen und Strömungen mit Turbulenzen. In laminaren oder Mischströmungen treten oft viskose Messmedien oder kleine Durchflussmengen auf, die bei anderen Messeinrichtungen dazu führen können, dass es zu signifikanten Abweichungen von dem Quadratwurzelverhältnis zwischen Durchflussmenge und gemessenem Differenzdruck kommt. Die Durchflusszahl eines Wedgemeters bleibt weitestgehend linear, von einer Reynoldszahl um 500 (laminare Strömungen) bis hin zu einer Reynoldszahl von 1.000.000 (turbulente Strömungen). Dies ist das Ergebnis jahrelanger Tests in Wasser und Luft in so bekannten Einrichtungen wie den Alden Laboratories und dem CEESI (Colorado Experiment Engineering Station Inc.).

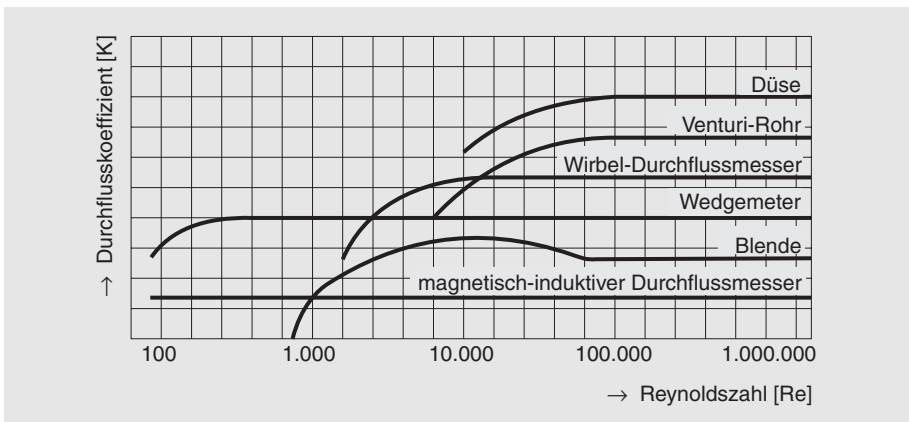


Bild 2-59: Durchflusskoeffizienten verschiedener Strömungselemente

Die Querschnittsverengung in einem Wedgemeter wird durch das H/D -Verhältnis charakterisiert, das dem Beta-Verhältnis einer konzentrischen Blendenplatte entspricht. Das H/D -Verhältnis ist definiert als die Höhe der Durchlassöffnung an der Verengung, dividiert durch den Innendurchmesser des Wedgemeters. Das H/D -Verhältnis kann angepasst werden, so dass sich für jede spezifische Durchflussmenge der gewünschte Differenzdruck ergibt. Der Vorteil für den Anwender liegt in einer hohen Flexibilität bei der Auswahl des geeigneten Wedgemeters für eine bestimmte Anwendung.

Der Anwender kann den Wedgemeter auswählen, der den optimalen Kompromiss zwischen Anschaffungskosten und Druckverlusten darstellt. Wie in der nachstehenden Grafik dargestellt, schwankt der nicht-ausgleichbare Druckverlust bei einem Wedgemeter, je nach H/D-Verhältnis, zwischen 30 % und 60 % des gemessenen Differenzdrucks.

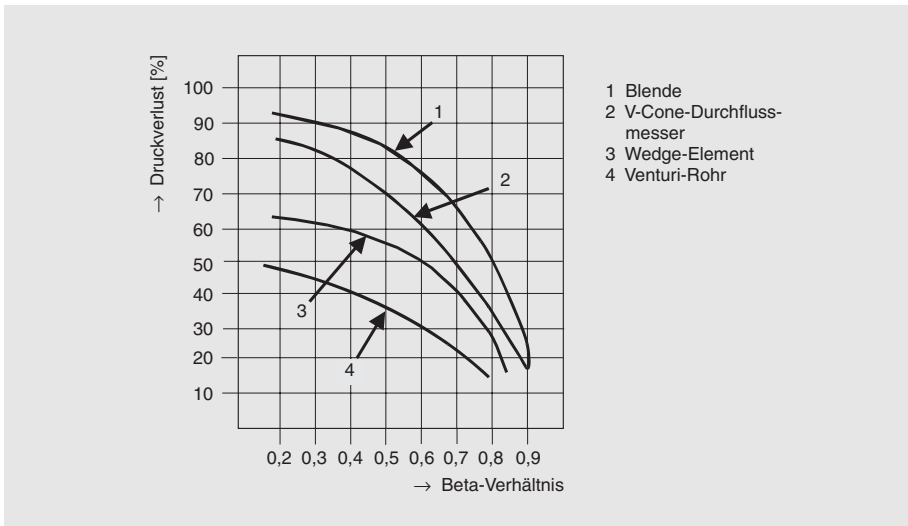


Bild 2-60: Druckverlust nach H/D-Verhältnis

Wedgemeter sind einfach zu installieren und erfordern keinerlei Spezialwerkzeuge oder besonderen Fachkenntnisse. Da die Leistung von Wedgemetern von Leitungsstörungen weitgehend unbeeinflusst bleibt, sind keine besonders langen geraden Einlaufstrecken oder Strömungsgleichrichter erforderlich. Empfohlen werden Einlaufstrecken von $5 \times D$ bis $10 \times D$ und Auslaufstrecken von $3 \times D$ bis $5 \times D$. Darüber hinaus kommen Wedgemeter ohne Siebe oder Filter im Einlauf aus, selbst wenn das Messmedium nicht ganz frei von Feststoffen ist. Auch Messmedien mit nicht gelösten Feststoffen und/oder nicht absorbierten Gasen, Gase mit Feststoff- und/oder Flüssigkeitsanteilen sowie Sattedampf, überhitzter Dampf und Nassdampf können problemlos gemessen werden. Ob auch Druckfühler oder integrierte Druckentnahmen zum Einsatz kommen hängt davon ab, in welchem Umfang sich eine Sekundärphase bildet.

Zu den typischen Applikationen von Wedgemetern zählen, neben den bereits erwähnten, unter anderem:

- Flüssigkeiten mit geringer Leitfähigkeit,
- Viskose und nicht-Newtonsche Flüssigkeiten,
- Prozesse mit hohen Betriebsdrücken und/oder -temperaturen,
- Bidirektionale Durchflussmessung,
- CO_2 - oder Wassereintrag zur Revitalisierung vorhandener Erdöl- und Erdgasfelder,
- Messmedien, die zu Agglomeration und Gummibildung neigen.

2.2.4 Durchflussmesser nach dem Staudruckverfahren

Pitot-Rohr mit Mittelwertbildung

Ein Pitot-Rohr mit Mittelwertbildung ist als auswechselbarer Messeinsatz oder als fest montierte Messsonde eingebaut und so ausgelegt, dass es den gesamten Durchmesser des Prozessrohrs abdecken kann. Das äußere Staurohr enthält eine Reihe von gegen die Strömungsrichtung ausgerichteten Druckentnahmeöffnungen, die ringförmig in einer logarithmisch-linearen Verteilung angeordnet sind.

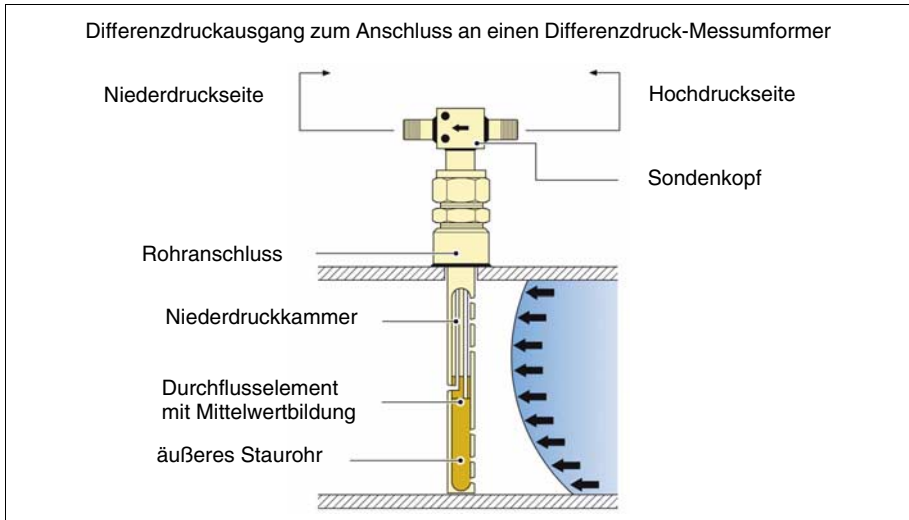


Bild 2-61: Schema eines Pitot-Rohres mit Mittelwertbildung

Der Gesamtdruck an jeder Druckentnahmeöffnung ist die Summe von zwei Einzeldrücken, nämlich des statischen Drucks und des Drucks, der durch das strömende Medium entsteht. Beide Drücke werden in der Messsonde gemittelt, und der Mittelwert bildet die Hochdruck-Komponente des Differenzdruckausgangs der Messsonde. Durch den Abstand der Druckentnahmeöffnungen wird sichergestellt, dass der resultierende Mittelwert die mittlere Strömungsgeschwindigkeit über den Rohrdurchmesser darstellt.

Die Niederdruck-Komponente wird durch eine einzelne Messöffnung auf der in Strömungsrichtung angeordneten Seite der Messsonde erzeugt. Die Differenz der beiden Drücke ist proportional zur Durchflussmenge, gemäß der folgenden Formel:

$$Q = k \cdot A \cdot \left[\frac{h}{\rho} \right]^{1/2}$$

Q = Volumendurchfluss

k = Konstante,

A = Querschnitt des Rohres/der Leitung,

h = erzeugter Differenzdruck,

ρ = Dichte des Mediums.

TORBAR Pitot-Rohre mit Mittelwertbildung

Der TORBAR stellt mit seinen einzigartigen Profilabflachungen, die auf der strömungsabgewandten Seite um die Druckentnahmeöffnung herum angeordnet sind, eine Weiterentwicklung runder Sensoren dar. Die Abflachungen definieren einen Trennpunkt, an dem die Strömungslinien abreißen, während das Messmedium das äußere Staurohr umströmt. Auf diese Weise wird auf der strömungsabgewandten Seite an der Druckentnahmeöffnung ein stabiler Druckbereich gebildet, so dass bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten ein konstanter Durchflusskoeffizient erreicht wird, der einen großen Durchflussmessbereich ermöglicht (Turndown-Verhältnis).



Bild 2-62:

Der TORBAR eignet sich für Gase, Flüssigkeiten und Dampf. Zu den typischen Anwendungen zählen Wasser, Ergas, Rauchgas, Stickstoff, Verbrennungsgase, Abluft, Seewasser, Kühlwasser, Schweröl, Sattdampf und überhitzter Dampf. Die möglichen Rohrdurchmesser reichen von 15 mm bis hin zu 8 m. TORBAR Pitot-Rohre mit Mittelwertbildung sind in zahlreichen Ausführungen für eine Vielzahl von Anwendungen erhältlich.

Reihe 100

Fest installierte Inline-Geräte mit Schweißenden, Gewindeanschluss oder Flanschanschluss für Nennweiten von DN 15 bis DN 50.

Reihe 300, 400 und 500

Fest installierte Eintauchgeräte mit Gewinde- oder Flanschanschluss für Nennweiten von DN 50 bis DN 5000.

Reihe 600, 700 und 800

Auswechselbare Eintauchgeräte mit Gewinde- oder Flanschanschluss für Nennweiten von DN 50 bis DN 5000. Für das Herausfahren der Messsonde aus der Rohrleitung steht auch eine einfach zu bedienende Sondenfahrvorrichtung zur Verfügung.

Jede dieser Reihen deckt einen bestimmten Bereich von Rohrmennweiten, statischen Drücken und Differenzdrücken ab. Eine spezielle Software erleichtert die Berechnung, Auswahl und Spezifikation des für die jeweilige Applikation am besten geeigneten TORBAR-Durchflussmessers.

Weltweit werden TORBAR-Durchflussmesser erfolgreich für eine Vielzahl unterschiedlicher Messungen in zahlreichen Industriezweigen eingesetzt. Hierzu gehören u. a.:

- Ölförderung (Onshore, Offshore)
- Öltraffinerung
- Nukleartechnik
- Lebensmittelindustrie
- Chemische Industrie
- Pharmazeutische Industrie
- Wasserverteilung
- Wasseraufbereitung
- Abwasserbehandlung
- Stromerzeugung
- Gebäudetechnik
- Gasverarbeitung
- Klimaanlage
- Gastransport

Zu den Anwendungsgebieten, in denen TORBAR-Durchflussmesser erfolgreich eingesetzt werden, zählen u. a.:

- Erdgas
- Rauchgas
- Stickstoffgas
- Kohlenwasserstoffgas
- Methangas
- Verbrennungsgas
- Sauer gas
- Abgas
- Koksofengas
- Kohlendioxidgas
- Benzindampf
- Abluft
- Druckluft
- Heißluft
- Lösungsmittelhaltige Luft
- Gesättigte Luft
- Sattdampf
- Überhitzter Dampf
- Seewasser
- Kühlwasser
- Flusswasser
- Abwasser
- Trinkwasser
- Flüssigsauerstoff
- Schweröl
- Salpetersäure
- Rotwein
- Autogas (LPG)

Durch ihre Vielseitigkeit sind TORBAR-Durchflussmesser auch ideal für die Messung in Abgasschornsteinen in Verbindung mit SG 2000. Das System SG 2000 von ABB verfügt über erweiterte Leistungsmerkmale. Mit seiner Mittelwertbildung für die zweite Phase, seiner zweiteiligen Ausführungsoption und der Hochdruck-Spülfunktion bietet es eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der Durchflussmenge von Abgasen ins Schornsteinen.

2.2.5 Schwebekörper-Durchflussmesser

Einfach und relativ genau lässt sich der Durchfluss von Gasen und Flüssigkeiten mit einem Schwebekörper-Durchflussmesser bestimmen. Ein senkrecht gestelltes Rohr, das sich nach oben konisch erweitert, wird von unten nach oben durchströmt. Das aufwärtsströmende Messmedium hebt den im Rohr befindlichen Schwebekörper so lange, bis der ringförmige Spalt zwischen Schwebekörper und Rohrwand so groß ist, dass die auf den Schwebekörper wirkenden Kräfte im Gleichgewicht sind und damit ein Schwebekörperzustand erreicht ist.

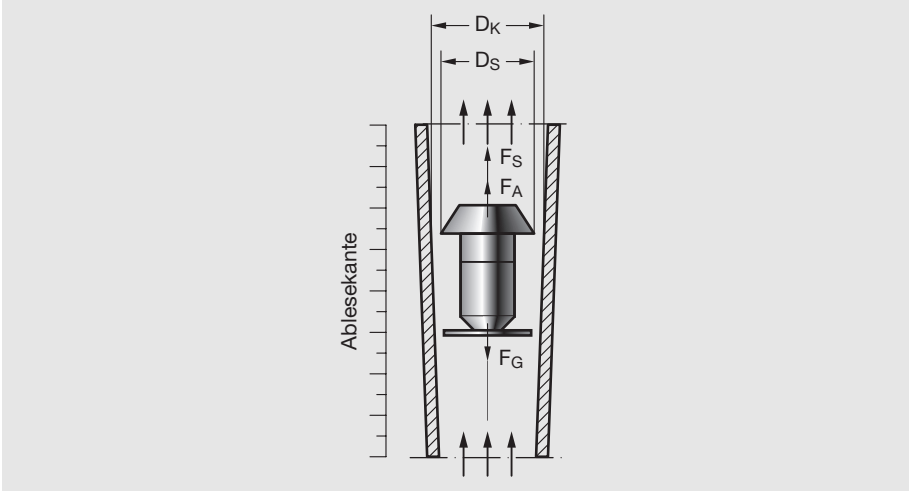


Bild 2-63: Prinzip des Schwebekörper-Durchflussmessers

Drei Kräfte wirken auf den Schwebekörper (Bild 2-63). Nach unten ist die Gewichtskraft F_G gerichtet:

$$F_G = V_s \cdot \rho_s \cdot g \quad (2.8)$$

Nach oben greifen zwei Kräfte an.

Der Auftrieb F_A und die Kraft des Strömungswiderstandes F_S :

$$F_A = V_s \cdot \rho_m \cdot g \quad (2.9)$$

$$F_S = c_w \cdot A_s \cdot \frac{\rho_m \cdot v^2}{2} \quad (2.10)$$

V_s : Volumen des Schwebekörpers

m_s : Masse des Schwebekörpers

ρ_s : Dichte des Schwebekörpers

ρ_m : Dichte des Messmediums

c_w : Widerstandsbeiwert

A_s : Querschnittsfläche des Schwebekörpers an der Ablesekante

v : Fließgeschwindigkeit des Messmediums

D_K : Konus-Innendurchmesser an der Ablesestelle

D_S : Durchmesser des Schwebekörpers an der Ablesekante

Für den Gleichgewichts-oder Schwebezustand gilt:

$$F_G = F_A + F_S \quad (2.11)$$

Der Durchfluss ist:

$$q_v = v \cdot A = v \frac{\pi}{4} (D_k^2 - D_s^2) \quad (2.12)$$

Der Widerstandsbeiwert c_w wird in die Durchflusszahl überführt:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{c_w}} \quad (2.13)$$

α ist abhängig von der geometrischen Form des Messrohres und des Schwebekörpers, vor allem vom Durchmesser Verhältnis. α beinhaltet auch die Reibung. Als empirisch ermittelter Wert erscheint er in gerätebezogenen Kennlinien, die in die Basisberechnung einbezogen werden.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Gleichungen lässt sich die allgemeine Durchflussgleichung für Schwebekörper-Durchflussmesser aufstellen.

Volumendurchfluss:

$$q_v = \frac{\alpha}{\rho_m} D_s \sqrt{g \cdot m_s \cdot \rho_m \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}\right)} \quad (2.14)$$

Massedurchfluss:

$$q_m = \alpha \cdot D_s \sqrt{g \cdot m_s \cdot \rho_m \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}\right)} \quad (2.15)$$

Der dem Durchfluss zur Verfügung stehende Ringspalt ändert sich wegen der Konizität des Messrohres mit der Höhenstellung des Schwebekörpers. Somit liefert die Höhenlage eine Aussage über den Durchfluss. Bei Verwendung eines Glasmessrohres kann daher der Messwert direkt an einer Skala abgelesen werden.

Verglichen mit der Wirkdruck-Durchflussmessung gibt es physikalisch eine Analogie, die sich durch gleichartige Berechnungsverfahren ausdrückt. Der gravierende Unterschied ist mechanischer Natur, denn bei der Wirkdruck-Durchflussmessung bleibt der durchströmende Querschnitt konstant und der Wirkdruck ändert sich mit dem Durchfluss, während sich beim Schwebekörperprinzip der Querschnitt anpasst und die Druckdifferenz gleich bleibt.

Schwebekörper

Eine wichtige Voraussetzung für die Messung ist die eindeutige Zentrierung des Schwebekörpers im Messrohr. Drei Methoden haben sich bewährt:

1. Durch Kerben am Schwebekörperkopf wird dieser vom strömenden Messmedium zur Rotation gezwungen und zentriert sich selbst. Dieses Prinzip lässt sich nicht bei allen Schwebekörperformen anwenden. Außerdem entsteht eine starke Abhängigkeit von der Viskosität des Messmediums.

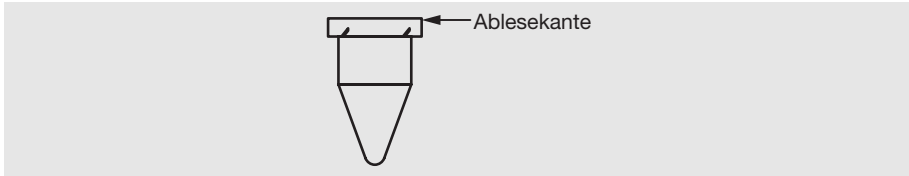


Bild 2-64: Rotierender Schwebekörper

2. Der Schwebekörper wird geführt, und zwar durch drei Rippen oder drei Flächen (Kugelschwebekörper), die im Gegensatz zum Konus achsparallel verlaufen. Unterschiedliche Schwebekörperformen sind möglich. Auch bei trüben undurchsichtigen Messmedien bleibt die Messkante erkennbar.

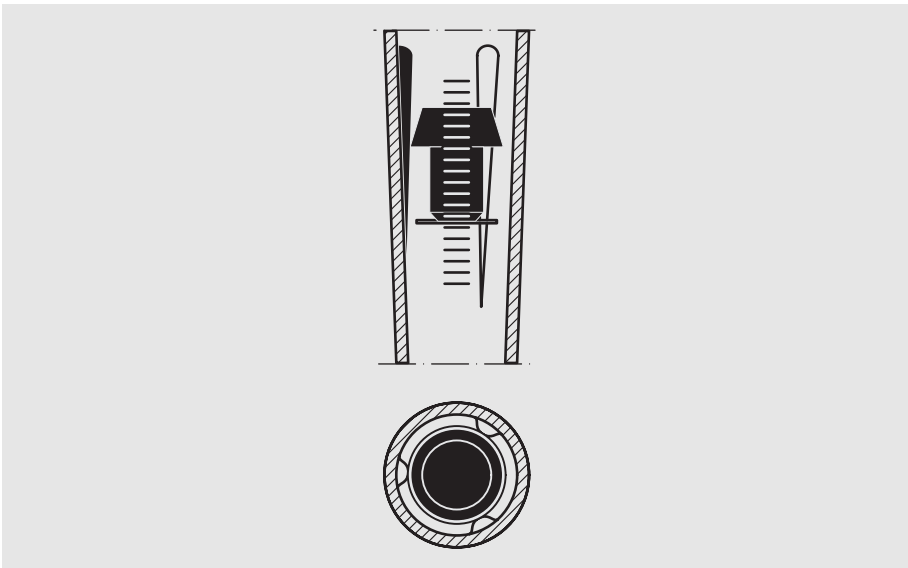


Bild 2-65: Schwebekörperführung in 3 Rippen oder 3 Flächen

3. Mit Hilfe einer Stange in der Rohrachse wird der Schwebekörper geführt. Diese Methode findet vor allem in Durchflussmessern mit Metallkonusrohr seinen Einsatz.

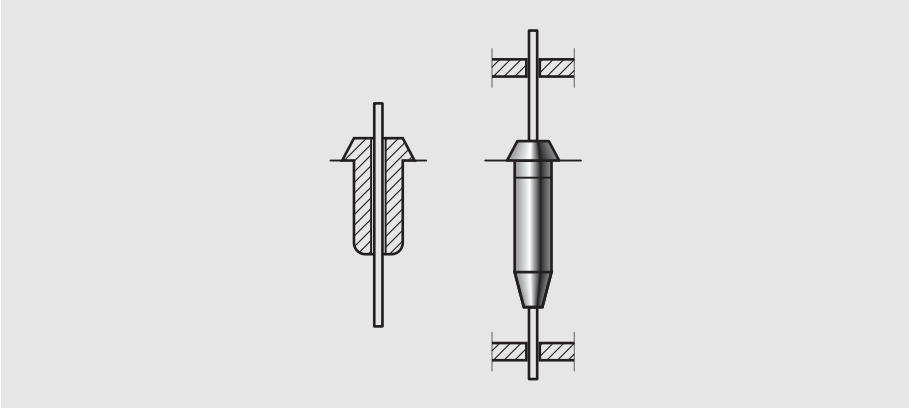


Bild 2-66: Schwebekörper mit Führungsstange

Es gibt eine große Zahl unterschiedlich ausgebildeter Schwebekörper. Gewicht, Form und Werkstoff werden durch den Einsatzfall bestimmt.

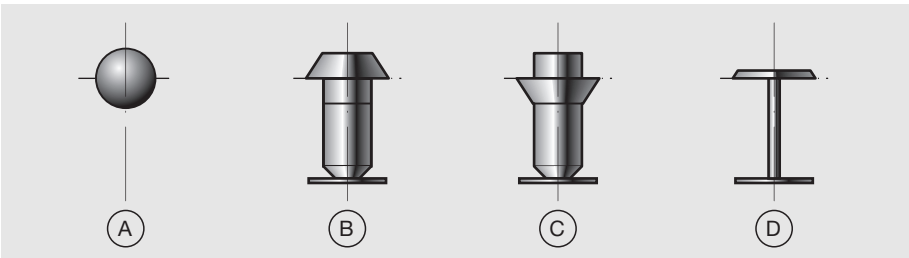


Bild 2-67: Beispielhafte Formen von Schwebekörpern

- A Kugelschwebekörper
- B Viskositätsunabhängiger Schwebekörper
- C Viskositätsbeeinflusster Schwebekörper
- D Schwebekörper für niedrigen Druckverlust

Der Kugelschwebekörper ist das Messorgan des Kleindurchflussmessers. Sein Gewicht lässt sich durch die Wahl unterschiedlicher Werkstoffe bestimmen. Formänderungen sind nicht möglich.

Daher ist die Durchflusszahl festgelegt. Die Kugelform ist verantwortlich für den Viskositätseinfluss.

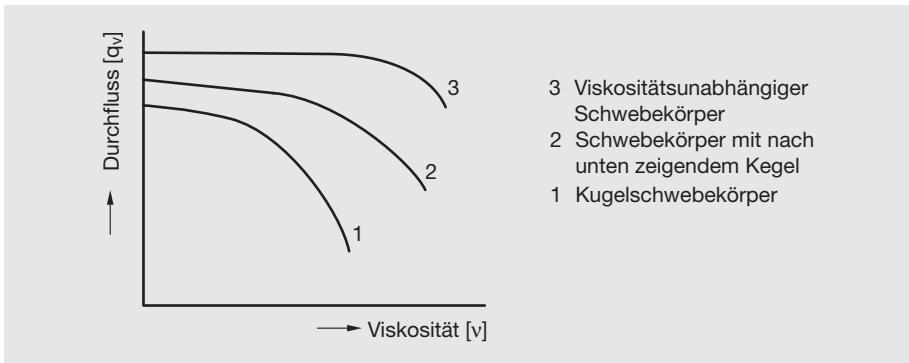


Bild 2-68: Viskositätseinfluss bei unterschiedlichen Schwebekörperformen

Bild 2-68 verdeutlicht den Viskositätseinfluss auf die Durchflussanzeige. Hier fällt die Kurve 1 für den Kugelschwebekörper besonders ins Auge, weil sie keinen linearen Anteil besitzt. Das bedeutet, dass jede Viskositätsänderung Abweichungen bringt. Man muss bedenken, dass bei vielen Messmedien schon geringste Temperaturwechsel die Viskosität verändern.

Der Schwebekörper mit dem nach unten zeigenden Kegel (Bild 2-64 und Bild 2-67c) wird weniger in Kleindurchflussmessern als in den größeren Varianten verwendet. Der lineare Kurvenanteil im Bild 2-68/2 ist relativ klein. Hier beweist sich die Aussage für den rotierenden Schwebekörper. Wesentlich unempfindlicher ist die Konstruktion aus Bild 2-67b. Die zugehörige Kurve Bild 2-68/3 hat einen großen linearen Anteil. Ein solches Gerät verkraftet relativ große Viskositätssprünge, misst bei gleicher Größe allerdings 25 % weniger als das vorher beschriebene. Der größere Teil der von ABB hergestellten Schwebekörper-Durchflussmesser enthält den viskositätsunempfindlichen Schwebekörper.

Schließlich gibt es auch noch einen sehr leichten Schwebekörper (Bild 2-67d) mit relativ geringem Druckverlust. Diese Version kommt mit geringen Vordrücken aus, deshalb ist sie besonders bei der Gas-Durchflussmessung beliebt.

Druckverlust

Druckverluste entstehen erstens gewollt am Schwebekörper, denn die für den Messeffekt erforderliche Energie wird als Druckverlust dem strömenden Messmedium entnommen, und zweitens durch die konstruktionsbedingten Einschnürungen in der Gerätearmatur.

Der Druckverlust am Schwebekörper ist abhängig von seinem größten Außendurchmesser und von seinem Gesamtgewicht und ist somit, unabhängig von seiner Höhenstellung im Messrohr, konstant. Der durch die Einschnürungen der Armatur verursachte Druckverlust steigt mit zunehmender Fließgeschwindigkeit quadratisch an.

Der entstehende Gesamtdruckverlust erfordert einen Mindestvordruck.

Dimensionierungsverfahren

Für alle Schwebekörper-Durchflussmesser gibt es Tabellen mit Messbereichsangaben für Wasser- und Luftdurchfluss, in denen die empirisch ermittelten α -Werte schon enthalten sind. Deshalb ist eine aufwendige Neuberechnung nicht nötig. Bei anderen Messstoffen als Wasser und Luft muss lediglich eine Umrechnung auf die äquivalenten Tabellenwerte erfolgen. Für glattkonische (Metallkonus) und Glasmessrohre mit Dreirippenführung gilt bei Flüssigkeiten:

$$q_{\text{vwasser}} = q_{v1} \sqrt{\frac{(\rho_s - 1) \cdot \rho_1}{(\rho_{s1} - \rho_1) \cdot 1}} \quad (2.16)$$

q_{v1} = Volumendurchfluss des Messmediums

q_{m1} = Massedurchfluss des Messmediums

ρ_s = Dichte des Schwebekörpers, i.d.R. 8,02 g/cm³ für nicht rostenden Stahl

ρ_{s1} = Dichte des Schwebekörpers, der verwandt wird

ρ_{s1} = nur in Sonderfällen

ρ_n = Dichte des Messmediums

ρ_1 = Dichte von Wasser, hier = 1 g/cm³

$$q_{\text{vwasser}} = q_{m1} \sqrt{\frac{\rho_s - 1}{\rho_1 \cdot 1 (\rho_{s1} - \rho_1)}} \quad (2.17)$$

Zur Berechnung von Glasmessrohren mit Dreiflächenmessrohren und Kugelschwebekörpern gibt es ein ähnliches Dimensionierungsverfahren.

Beispiel:

Messmedium	Ammoniak, flüssig
Massedurchfluss q_m	1500 kg/h
Dichte ρ	0,68 kg/l
dyn. Viskosität η	0,23 mPas
Betriebsdruck	15 bar
Betriebstemperatur	20 °C

nach Gleichung (2.17) gilt:

$$q_{\text{vwasser}} = 1500 \sqrt{\frac{8,02 - 1}{0,68 \cdot 1(8,02 - 0,68)}}$$

$$q_{\text{vwasser}} = 1779 \text{ l/h}$$

Mit diesem Wasserwert kann man jetzt in der Tabelle des ausgewählten Gerätes die Gerätegröße heraussuchen.

Zur Umrechnung auf äquivalente Tabellenwerte für Luft muss zuerst die auf Luft bezogene relative Dichte ρ_B berechnet werden:

$$\rho_{\text{nLuft}} = 1,293 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_B = \frac{\rho_n}{1,293} \cdot \frac{T_n}{T_n + T} \cdot \frac{p_n + p}{p_n} \quad (2.18)$$

ρ_n = Dichte des Gases bei Normalbedingungen

T_n = 273,15 K

T = [°C]

p_n = 1,013 bar

p = [bar]

ρ_1 = Dichte des Gases bei Betriebsbedingungen

Die Formel 2.16 lässt sich bei Gasen ($\rho_s \ll \rho_w$; $\rho_{s1} \ll \rho_1$) reduzieren auf:

$$(q_v)_n = q_{v1} \sqrt{\frac{\rho_s \cdot \rho_1}{\rho_{s1} \cdot \rho_n}} \quad (2.19)$$

Daraus ergibt sich mit der dimensionslosen Verhältniszahl ρ_s für den Luft-Tabellenwert:

$$(q_v)_{n\text{Luft}} = q_{v1} \sqrt{\frac{\rho_s \cdot \rho_B}{\rho_{s1}}} \quad (2.20)$$

oder für den Massedurchfluss q_m :

$$(q_v)_{n\text{Luft}} = \frac{q_{m1}}{1,293} \cdot \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_{s1} \cdot \rho_B}} \quad (2.21)$$

Beispiel:

Messmedium	Ammoniak, gasförmig
Durchfluss q_m	1500 kg/l
Dichte ρ_n	0,7714 kg/m ³
Druck p	5 bar
Temperatur T	100 °C

nach Gleichung (2.18) und (2.19) gilt:

$$\rho_B = \frac{0,7714}{1,293} \cdot \frac{273}{373} \cdot \frac{6,013}{1,013} = 2,592$$

$$(q_v)_{n\text{Luft}} = \frac{1500}{1,293} \cdot \sqrt{\frac{8,02}{8,02 \cdot 2,592}} = 720,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Viskositätseinfluss

Nach der Dimensionierung und Auswahl des Durchflussmessers sollte der Viskositätseinfluss mit Hilfe der Viskositäts-Unabhängigkeits-Zahl VUZ geprüft werden:

$$VUZ = \eta \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{(\rho_{s1} - \rho_1) \rho_1 \cdot \rho_w}} = \eta \sqrt{\frac{\rho^1 - 1}{(\rho_{s1} - \rho_1) \rho_1}} \quad (2.22)$$

η = aktueller Viskositätswert des Messmediums

Der errechnete VUZ-Wert muss kleiner sein als der in der Durchflusstabelle aufgeführte. Die Durchflussmesswerte sind bis zum berechneten Wert viskositätsunabhängig, auch bei Viskositätsschwankungen. Liegt der errechnete VUZ-Wert über der Tabellenangabe, muss das ausgewählte Gerät bei der aktuellen Viskosität kalibriert werden.

Beispiel:

Messmedium

dynam. Viskosität η

Dichte ρ

Schwebekörperdichte $\rho_s = \rho_{s1}$

Ammoniak

0,23 m · Pas

0,68 kg/l

8,02 (nichtrostender Stahl)

$$VUZ = 0,23 \sqrt{\frac{8,02 - 1}{(8,02 - 0,68) \cdot 0,68}} = 0,27$$

Der mit 28 angegebene VUZ-Tabellenwert liegt weit über dem errechneten. Es gibt keinen Einfluss der Viskosität.

Noch einfacher lassen sich Schwebekörper-Durchflussmesser mit dem ABB-Berechnungsprogramm „flow calc“ auswählen und exakt berechnen.

Geräteauswahl

Ein typisches Schwebekörper-Produktprogramm umfasst eine Metallkonus- und eine Glaskonus-Linie, die in unterschiedlichsten Applikationen ihren Einsatz finden:

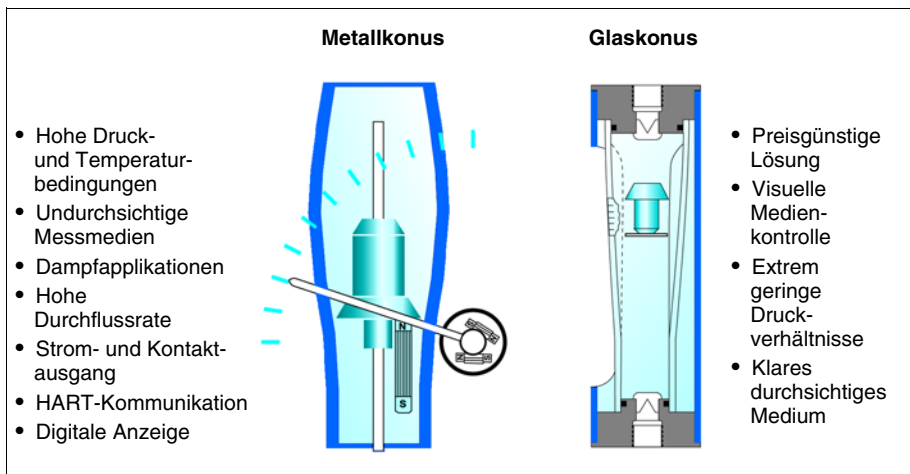


Bild 2-69: Gegenüberstellung Metallkonus zu Glaskonus

Gerätebeschreibung Kleindurchflussmesser

Kleindurchflussmesser sind konstruktiv klein gebaut und für kleine Durchflüsse zur örtlichen Anzeige ausgelegt. Alle sind so konstruiert, dass das Messrohr ausgetauscht werden kann, und alle haben ein Nadelventil, womit der Durchfluss eingestellt wird. Die Messspanne beträgt jeweils 1:10 bzw. 1:12,5 bei Skalenlängen zwischen 38 und 250 mm. Als Schwebekörper verwendet man die Kugel. Die Genauigkeit ist abhängig vom Messrohrwerkstoff und von der Skalenlänge.

Für Wasser oder äquivalent gerechnete andere Flüssigkeiten liegt das Messbereichs-ende zwischen 0,03 l/h und 140 l/h, für Luft und Gase zwischen 2,88 und 4330 l/h.

Kleindurchflussmesser „SNAP-IN“ Serie FAG6100

"SNAP-IN", das ist eine elegante Methode für den Austausch des Messrohres. Die Messrohrhalterung und die Dichtelemente im oberen Fitting sind federnd gelagert, so dass das Messrohr nach oben gedrückt und nach unten herausgenommen werden kann. Eine Polykarbonat-Schutzkappe sichert das Messrohr. Das integrierte Rückschlagventil verhindert Rückströmungen. Ein Zertifikat vom DVGW liegt vor.



Bild 2-70: Serie FAG6100

Werkstoffe	
Gehäuse	nichtrostender Stahl
Messrohrhalter	1.4401 Messing
Messrohr	Borsilikatglas, Trogamid
Schwebekörper	Glas, Saphir, Tantal, 1.4401, Carboloy
O-Ringe	Buna-N, Viton-A, Ethylen-Propylen
Schutzkappe	Polykarbonat

Technische Daten

Typ	Skalenlänge (mm)	Gehäuselänge (mm)	Messbereich für Wasser
10A6134/44	38	120	3...48 cm ³ /h bis 3...132 l/h
10A6131/41	70	151	24...264 cm ³ /h bis 10...105 l/h
10A6132/42	130	264	2,6...32 cm ³ /h bis 11,2...140 l/h

Der mit dem Nadelventil eingestellte Messwert wird bei Druckänderungen beeinflusst. Der zusätzlich angebaute Differenzdruckregler hält, unabhängig von Druckschwankungen, den Differenzdruck am Nadelventil und somit den eingestellten Durchfluss konstant.

Als Grenzwertgeber werden Ringinitiatoren eingesetzt.

Arbeitsweise

Bei Ringinitiatoren mit bistabilem Schaltverhalten zieht das Relais im Schaltverstärker bei Erreichen des Grenzwertes durch die Schwebekörperkugel an. Das Relais bleibt auch dann angezogen, wenn sich der Schwebekörper weiter über dem Grenzwert bewegt. Das Relais fällt ab, sobald der Schwebekörper in entgegengesetzter Richtung den Grenzwert durchläuft und wieder in den Normalbereich gelangt. Der jeweilige Zustand, ober- oder unterhalb des Grenzwertes, wird eindeutig angezeigt. Der Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich ist möglich, da die verwendeten Ringinitiatoren als eigensichere Fühler mit eigensicherem Stromkreis arbeiten. Wegen der relativ geringen Messrohrlänge ist das Modell 10A6131/41 nur für einen Minimal- oder Maximal-Grenzwert zu empfehlen; für Minimal- und Maximal-Grenzwerte ist das Modell 10A6132/42 besser geeignet.

Glaskonus-Schwebekörper-Durchflussmesser Serie FAG1190

Dieses robust und einfach konstruierte Betriebsmessgerät ist das am häufigsten eingesetzte Modell. Flansche, Rohrrinnengewinde oder auch das in der Nahrungsmittelindustrie bevorzugte Rundgewinde (DIN 11851) sind die Verbindungselemente zum Prozess. Glaskonus-Schwebekörper-Durchflussmesser sind für den Einsatz in vielen Industriezweigen, wie z. B. Ofenbau, geeignet. Standardmäßig wird das Gerät mit einem Gehäuse aus nichtrostendem Stahl ausgeliefert.

Das Messrohr wird mit O-Ringen so gedichtet und gehalten, dass keine mechanischen Spannungen auftreten können.

Bei Gasmessungen schützt ein zusätzliches Schutzrohr aus Polykarbonat das Glasmessrohr vor Berührung und mechanischer Zerstörung. Damit ist der Personenschutz sichergestellt. Ein DVGW-Zertifikat liegt vor.

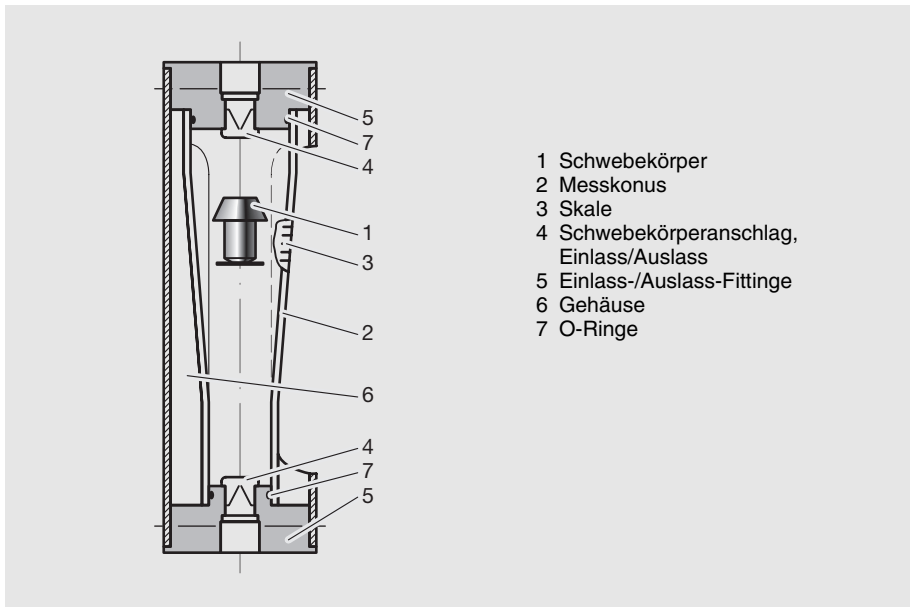


Bild 2-71: Grundaufbau

Werkstoff	
Messrohr	Borsilikatglas
Schwebekörper	Glas, Saphir, Tantal, 1.4301, 1.4571, PVDF u. a.
Fittinge	PVC, PVDF u. a.
O-Ringe	Buna-N, Viton-A, Ethylen-Propylen
Gehäuse	CrNi-Stahl 1.4301
Anschlüsse	FAG1190-97: Innengewinde FAG1190-98: Flanschanschluss FAG1190-87: Rohrverschraubung



Bild 2-72: Serie FAG1190

Technische Daten:

Gehäuse- größe	Messrohr- größe	Skalen- länge	Messbereichsendwert		max. zul. Druck [bar]	Genauig- keits- klasse
			(Wasser) [l/h]	(Luft) [m ³ /h]		
1/4	1/16	100	0,03...1,1	0,003...0,04	38	6
1/4	1/18	130	0,37...10	0,022...0,33	33	1,6
1/4	1/4	130	4,7...132	0,223...4,03	30	1,6
1/2	1/2	250	43...418	1,3...12,3	21	1,6
3/4	3/4	250	144...1300	4,3...38,7	17	1,6
1	1	250	310...2800	9,2...83,0	14	1,6
1 1/2	1 1/2	250	560...4800	17,3...142,5	9	1,6
1	1	250	1420...17000	42,6...510	7	1,6

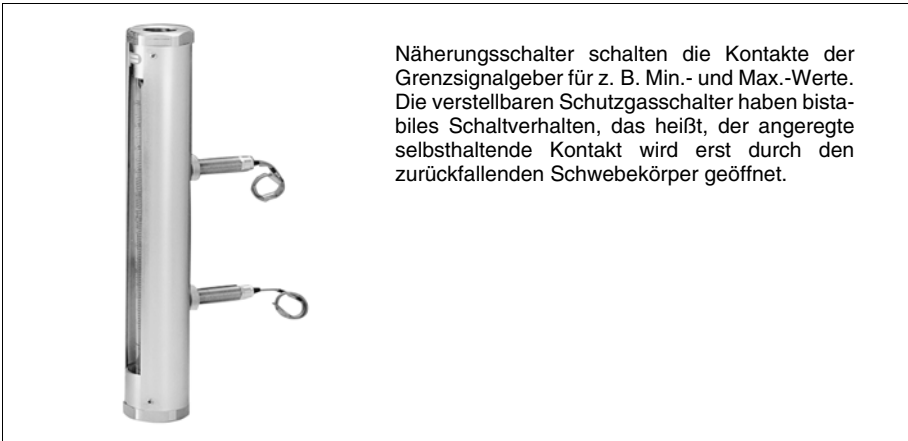


Bild 2-73: Grenzwertgeber 55AX1000

Metallkonus-Schwebekörper-Durchflussmesser

Wesentlich universeller verwendbar als die Glaskonus-Schwebekörper-Durchflussmesser sind die in der Ganzmetall-Bauform. Die Druckbelastung kann bis 250 bar gehen, und die maximal zulässige Messmediumtemperatur darf (abhängig von der Umgebungstemperatur) bis zu 400 °C betragen.

Die Übertragung der Schwebekörperstellung auf den Zeiger übernimmt ein Magnetfolgesystem mit einem Permanentmagnet im oder am Schwebekörper und Permanentfolgemagnete auf der Zeigerachse. Das Folgesystem reißt auch bei sprungförmigen Durchflussänderungen nicht ab. Die Führungsstange des Schwebekörpers bleibt auch bei extremen Ausschlägen innerhalb des Messohres.

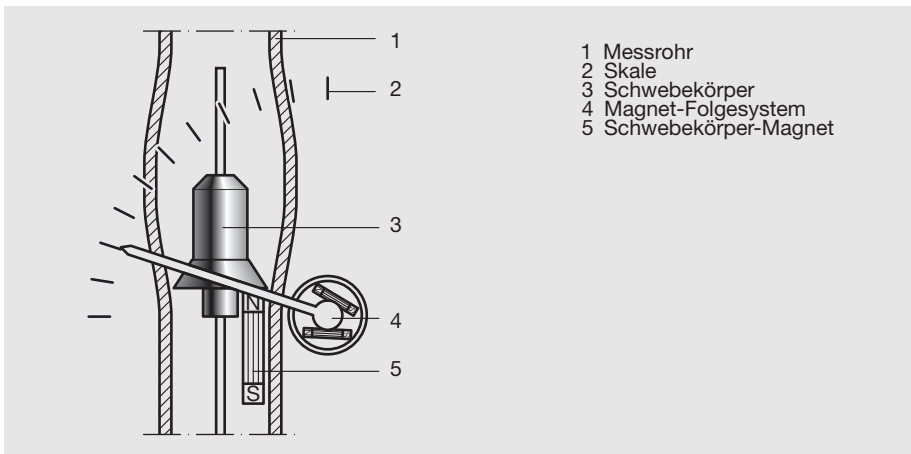


Bild 2-74: Grundaufbau eines Metallkonus-Schwebekörper-Durchflussmessers

Metallkonus-Durchflussmesser Serie FAM540

Außer der standardmäßig vorhandenen örtlichen Durchflussanzeige stehen für diesen Durchflussanzeiger steckbare Einheiten zur Nachrüstung auf ein oder zwei Grenzwertgeber, elektrische Messumformer mit Analogausgang 4...20 mA sowie ein zusätzliches Display zwecks Durchflusszählung und zusätzliche Digitalanzeige des momentanen Durchflusses zur Verfügung. Die Nachrüstung ist jeweils ohne Prozessunterbrechung möglich. Durch geeignete Werkstoffe der messmediumberührten Teile können chemisch aggressive (auch trübe) Flüssigkeiten, Gase und Dämpfe gemessen werden. In Verbindung mit dem bewährten Multifunktionsschwebekörper eröffnet dieser Durchflussmesser neue Perspektiven in der traditionellen Durchflusstechnik.

Ein geeignetes Dämpfungssystem verhindert Kompressionsschwingungen bei Gas und Dampfmessungen. Mit Hilfe eines Doppelmantels lässt sich das Messrohr bei besonders schwierigen Messmedien mit Dampf oder Warmwasser beheizen.

Werkstoff	
Messrohr	1.4404 oder PTFE-Auskleidung
Schwebekörper	1.4571, Hastelloy C, PTFE
Flansche	1.4404
Anzeigergehäuse	Aluminium

Messbereiche

Nennweite		Baulänge [mm]	Messbereichsendwert	
			Wasser [m³/h]	Luft [m³/h]
DN	Inch			
15	1/2	250	0,03...0,85	0,1...25
25	1	250	0,28...6,1	8,4...180
50	2	250	4,2...24	125...720
80	3	250	7...54	210...1550
100	4	250	25...120	760...3600

Technische Daten	
Skalenlänge	100 mm
Maximal möglicher Druck	450 bar
Maximal mögliche Temperatur	400 °C (bei Umgebungstemperatur 50 °C)
Genauigkeitsklasse	1,6
Kontaktausgang	1 oder 2 Grenzwertkontakte über Schlitzinitiator
Analogausgang	4...20 mA; Speisespannung 14...28 V DC
	eigensichere Speisung ATEX/IECEx II 1/2G Ex ia IIC T4
	nicht-eigensichere Speisung ATEX/IECEx II 1/2G Ex d IIC T6
Kommunikation	HART-Protokoll

Elektrischer Messumformer

Alle Metallkonus-Durchflussmesser mit Messumformer sind so gestaltet, dass die mechanische Anzeige auch dann sichergestellt ist, wenn der Messumformer ausfällt. Das bedeutet, dass der Messwert am Messort jederzeit abgelesen werden kann, auch wenn die Übertragung des elektrischen Signals gestört ist.

Bei dem Messumformer handelt es sich um eine Zweileiterausführung. Er ermöglicht den Aufruf aller Messparameter, die bei Bedarf neu eingestellt werden können.

Der Messumformer überwacht sich selbst und hat eine automatische Fehlerdiagnose. Die Bedienung bei offenem Gehäuse ist über drei zugängliche Schalter möglich. Bei geschlossenem Gehäuse erfolgt die Bedienung von außen mit Hilfe eines Magnetstiftes. Zur Parameter- und Messwertdarstellung dient eine kontrastreiche zweizeilige LCD-Anzeige.



Bild 2-75: Metallkonus-Schwebekörper-Durchflussmesser Serie FAM540

Ganzmetall-Kleindurchflussmesser Serie FAM3200

Mit dem kleinen Schwebekörper-Durchflussmesser in Ganzmetallbauweise ist es problemlos möglich unter extremen Bedingungen den Durchfluss von Gasen und Flüssigkeiten zu messen. Auch trübe Flüssigkeiten, die besonders in der chemischen-, petrochemischen- und pharmazeutischen Industrie Verwendung finden, sind für diesen Durchflussmesser kein Problem.

Aber auch im Laborbereich, in Gasanalyseanlagen und überall dort, wo die vorherrschenden Bedingungen die Verwendung von Glas-Messrohren ausschließt, zeigen sich die Vorteile des Ganzmetall-Kleindurchflussmessers.

Werkstoffe	
Messmediumberührte Teile	1.4571, PVDF
O-Ringe	Viton-A, Buna-N
Anzeigergehäuse	Aluminium, CrNi-Stahl
Kappe	Polykarbonat, Trogamid, nichtrostender Stahl mit Glasfenster

Technische Daten	
Kleinster Messbereich	0,1...1,0 l/h Wasser 0,008...0,048 m³/h Luft
Größter Messbereich	300...3000 l/h Wasser 8...90 m³/h Luft
Skalenlänge	60 mm
Max. zul. Druck	100 bar
Max. zul. Temperatur	150 °C
Genauigkeitsklasse	6
Analogausgang	4...20 mA
Kontaktausgang	1 oder 2 Grenzwerte über Schlitzinitiatoren



Bild 2-76: Ausführungformen

Schnittbild

2.2.6 Magnetisch-induktive Durchflussmesser

Bewegt man einen elektrischer Leiter in einem Magnetfeld, so wird senkrecht zur Bewegungsrichtung und senkrecht zum Magnetfeld eine elektrische Spannung induziert, deren Größe der Magnetfeldstärke und der Geschwindigkeit der Bewegung proportional ist. Diese Aussage des Induktionsgesetzes lässt sich auch auf ein mit einer leitenden Flüssigkeit gefülltes Rohr beziehen, wenn die Flüssigkeit im Magnetfeld fließt.

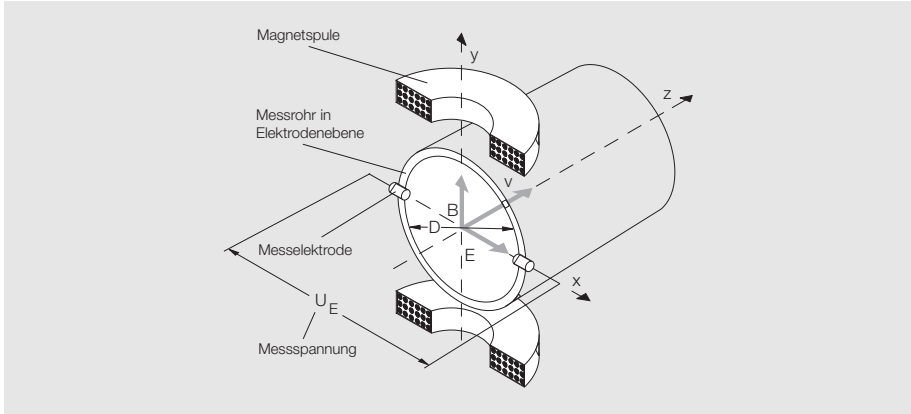


Bild 2-77: Prinzip des magnetisch-induktiven Durchflussmessers

Für den so entstandenen magnetisch-induktiven Durchflussmesser ergibt sich folgende Beziehung:

$$U_O \sim B \cdot v \cdot D \quad (2.23)$$

mit der Induktion B, der Fließgeschwindigkeit v und der Leiterlänge (Rohrdurchmesser) D.

Der Durchfluss q_v durch den betrachteten Rohrquerschnitt A ist

$$q_v = A \cdot v = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot v \quad (2.24)$$

Die Vereinigung beider Gleichungen liefert die entscheidende Beziehung für dieses Messsystem:

$$U_O \sim q_v$$

Eine Realisierung des in Bild 2-77 gezeigten Prinzips setzt voraus, dass sich im Rohrinneren ein Magnetfeld aufbaut und dass die induzierte Spannung störungsfrei abgegriffen wird. Zwei Erregerspulen erzeugen das Magnetfeld, das im Rohr nur dann entsteht, wenn es nicht durch einen magnetisierbaren Rohrwerkstoff abgeleitet wird. Austenitischer Stahl hindert das Magnetfeld nicht; deshalb ist dies der meist verwendete Rohrwerkstoff im magnetisch-induktiven Durchflussmesser. Zur Vermeidung einer Spannungsableitung für das Messsignal U_E bekommt das Messrohr eine isolierende Innenauskleidung. Der Abgriff der Messspannung U_E erfolgt mit Hilfe zweier metallischer Elektroden, die mit dem Messmedium in galvanischem Kontakt stehen.

Eine weitere Voraussetzung für die Funktion ist bereits erwähnt, nämlich die Tatsache, dass das Messmedium einen elektrischen Leiter darstellt. Deshalb wird eine elektrische Mindestleitfähigkeit gefordert, die je nach Gerätetyp zwischen 20 und $0,05 \mu\text{S}/\text{cm}$ betragen muss.

Struktur des Magnetfeldes

Die an den Elektroden abgegriffene Messspannung U_E ist die Summe aller Elementarspannungen aus dem gesamten magnetisch erregten Raum im Messrohr. Die folgende Betrachtung vernachlässigt den räumlichen Aufbau des Magnetfeldes, sie beschränkt sich auf den ebenen Rohrquerschnitt im Bereich des Elektroden. Dabei stellt sich heraus, dass der Durchgriff der Elementarspannung zu den Elektroden oder anders gesagt, die Intensität, mit der die Teilspannungen an der Gesamt-Messspannung U_E beteiligt sind, von der geometrischen Lage der Teilspannungen abhängig ist.

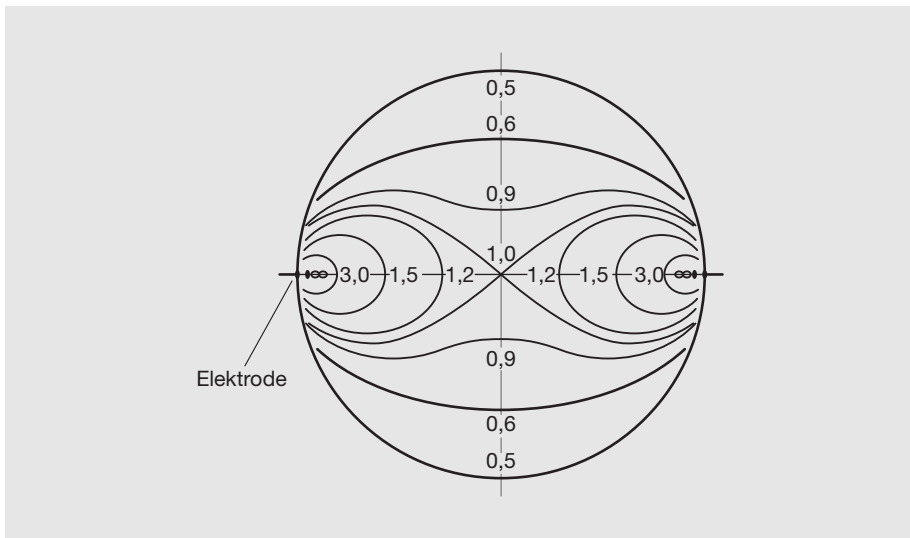


Bild 2-78: Wertigkeitsverteilung in der Elektrodenebene

Im Bild 2-78 ist die Intensitätsverteilung, bezogen auf den willkürlich gewählten Wert „1“, im Zentrum dargestellt. Es ist sicher verständlich, dass die in Elektrodennähe entstandene Elementarspannung stärker wirksam wird als die am Pol induzierte. Mit dem Begriff Wertigkeit W bezeichnet man den Faktor des lageabhängigen Durchgriffs. In einem homogen aufgebauten Magnetfeld, bei dem also die Induktion B an allen Orten gleich groß ist, sind auch die Elementarspannungen, gemessen am Entstehungsort, überall gleich groß. Vorausgesetzt, die Fließgeschwindigkeit des Messmediums ist ebenfalls überall gleich groß.

Bei einem unsymmetrischen Strömungsprofil, beispielsweise nach einem Rohrkrümmer (Bild 1-7a), werden die verschiedenen Bereiche im Rohrquerschnitt unterschiedlich beaufschlagt. Es kommt zur Überbewertung einiger Bereiche und zur Unterbewertung anderer mit dem Ergebnis, dass die Gesamt-Messspannung U_E nicht mehr dem Mittelwert aller Teilspannungen entspricht, also auch nicht mehr den Durchfluss repräsentiert.

Mit dem wertigkeitsinversen Aufbau des Magnetfeldes wurde eine Methode des Ausgleichs gefunden. Das Magnetfeld wird im Bereich kleiner Wertigkeit verstärkt und umgekehrt, bei großer Wertigkeit geschwächt, so dass schließlich das Produkt aus Wertigkeit W und Induktion B über den gesamten Querschnitt betrachtet konstant ist:

$$W \cdot B = \text{konstant} \quad (2.25)$$

Jetzt ist der Durchgriff aller Teilspannungen gleich groß, das unsymmetrische Strömungsprofil verursacht keine Fehler.

Die praktische Realisierung eines wertigkeitsinversen Magnetfeldes ist mit vertretbaren Mitteln nur annähernd möglich. Diese Tatsache ist der Grund dafür, dass eine kurze Einlaufstrecke von 3 bis 5 mal Rohrdurchmesser vor dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser empfohlen wird. Auf dieser Strecke kommt es auch nach Strömungsstörungen zu der erforderlichen Egalisierung.

Störspannungen

Die Messspannung U_E ist kleiner als 0,5 mV pro 1 m/s Fließgeschwindigkeit. Sie ist überlagert mit Störspannungen, deren Größe z. T. erheblich darüberliegt. Dem nachgeschalteten Messumformer kommt die Aufgabe zu, den Einfluss der Störer zu beseitigen und das Messsignal so zu verstärken und umzuwandeln, dass nachgeschaltete Auswertegeräte wie Anzeiger, Schreiber, Regler betrieben werden können.

Welche Störspannungen treten auf?

Da ist zuerst eine elektrochemische Gleichspannung. Sie entsteht in einem galvanischen Element an den Grenzflächen der Elektroden beim Übergang von der ionenleitenden Flüssigkeit zum elektronenleitenden metallischen Leiter. Diese „Polarisationsspannungen“ sind von unterschiedlichen Umgebungseinflüssen – wie z. B.

Temperatur, Druck, Messmediumzusammensetzung – abhängig. Sie sind in ihrer Größe nicht reproduzierbar und unterschiedlich an den beiden Elektroden, so dass ihr Einfluss nicht vorhergesagt werden kann.

Die Erregerspulen sind kapazitiv mit der Signalleitung im Inneren des Durchfluss-Messwertaufnehmers und mit den Elektroden verkoppelt. Die eingekoppelte „kapazitive Störspannung“ ist von der Erregerspannung abhängig und vom Innenwiderstand der Messstrecke, somit von der Leitfähigkeit des Messmediums. Sorgfältige Abschirmungsmaßnahmen, besonders bei niedriger Leitfähigkeit, sollen Streukapazitäten vermeiden.

Die Signalleitung im Gerät, das sind die Verbindungsleitungen von den Elektroden kommend, werden über dem Rohr zusammengeführt und bilden zusammen mit der Messstrecke eine Leiterschleife im Transformator, in die der Erregerkreis eine „transformatorische Störspannung“ induziert.

Präziser mechanischer Aufbau und saubere Leitungsführung minimieren diese Störspannung. Flüssigkeitsgefüllte Rohrleitungen, vor allem die mit großer Nennweite, sind gute Leitungswege für Erdungsströme aus Unsymmetrien im elektrischen Leitungsnetz.

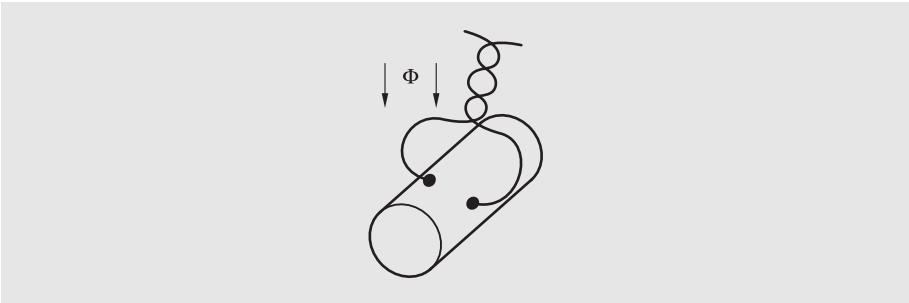


Bild 2-79: Leiterschleife im Transformator

Der dann zwischen den Elektroden entstehende Spannungsabfall ruft eine weitere „äußere“ Störspannung hervor, die dadurch verhindert wird, dass der Erdungsstrom um das Messsystem herumgeleitet wird. Dies wird durch die Parallelschaltung eines niederohmigen Leitungsweges (starker Kupferdraht) mit Erdung erreicht.

Zur Verhinderung der Störeinflüsse gibt es, je nach Art der Magnetfelderregung, unterschiedliche Maßnahmen, die die Entstehung oder den Einfluss verhindern. So werden Gleichspannungen, wie z. B. die Polarisationsspannungen, durch kapazitive Ankopplung des nachgeschalteten Messumformers gesperrt.

Methoden der Magnetfelderregung

Der geometrische Aufbau des Magnetfeldes wurde bereits beschrieben. Wie sieht nun der zeitliche Ablauf bei Berücksichtigung der Störeinflüsse aus?

Am einfachsten wäre sicher die Felderregung mittels Permanentmagnet. Alle durch Wechselfpannung verursachten Störspannungen wären dann wirkungslos. Leider wäre aber der Einfluss der Polarisationspannungen, deren Größen ja nicht vorhersehbar sind, so stark, dass sie das gesuchte Messsignal unterdrücken würden. Ist dann die Erregung mit 50 Hz-Wechselspannung die Alternative? Dieses System hat mit den Störspannungen aus dem Wechselfeld zu kämpfen, hat aber durchaus seine Existenzberechtigung.

Ein Verfahren der Magnetfelderregung, das die Vorteile der beiden genannten Systeme nutzt und deren Nachteile verhindert, ist das geschaltete Gleichfeld.

Geschaltetes Gleichfeld

Im Zeitpunkt t_0 liegt eine Gleichspannung an den Erregerspulen. Wegen der Induktivität der Spulen wächst der Erregerstrom I langsam auf seinen Endwert.

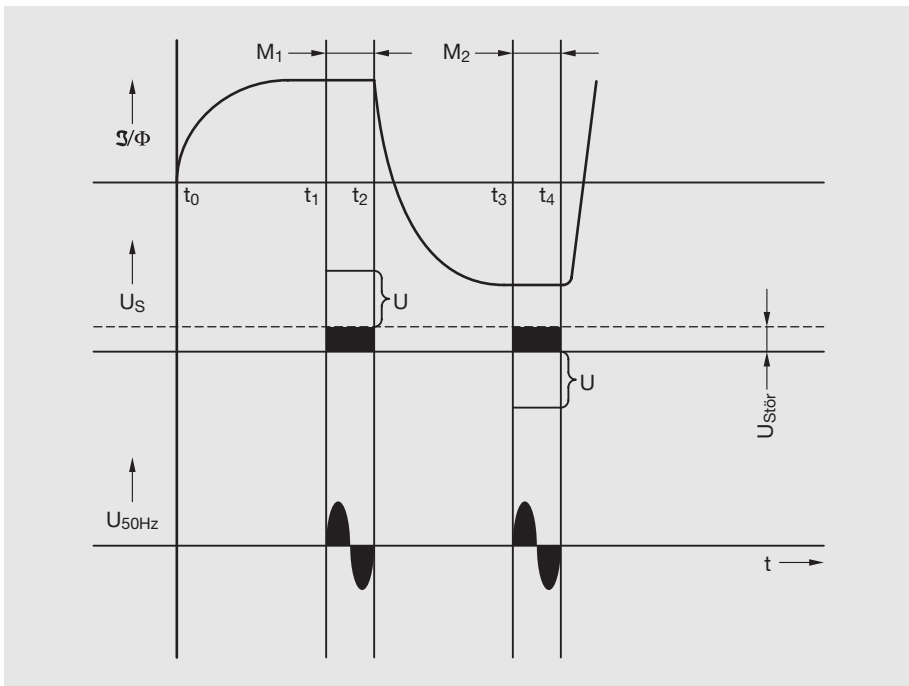


Bild 2-80: Magnetfeldversorgung mit geschaltetem Gleichfeld

Nach dem Abklingen des transienten Übergangs bleiben Erregerstrom I und magnetischer Fluss konstant, der Differentialquotient ist null:

$$\frac{d\Phi}{dt} = 0$$

Damit verschwinden die transformatorischen und zum größeren Teil auch die kapazitiven Störspannungen.

Erst wenn dieser Zustand nach 60 ms sicher erreicht ist, schaltet sich im Zeitpunkt t_1 der Messumformer ein und erfasst während eines Zeitraums von 20 ms das Elektrodensignal U_s . 20 ms ist die Zeit für eine Periode des 50 Hz-Systems (bei anderen Frequenzen entsprechende Zeiten). 50 Hz-Störer, das sind vor allem die äußeren Störspannungen, eliminieren sich selbsttätig.

Die Elektrodenspannung U_s beinhaltet die gesuchte Messspannung U und den nicht kompensierten Störrest $U_{\text{stör}}$. Während der Messzeit M_1 gilt:

$$U_{s1} = U + U_{\text{stör}} \quad (2.26a)$$

Dieser Wert wird gespeichert.

Bei t_2 wird die Gleichspannung umgepolt, der Erregerstrom und die durch ihn verursachte Messspannung U haben die umgekehrte Richtung. $U_{\text{stör}}$ bleibt unbeeinflusst, so dass während der Messzeit M_2 folgende Beziehung gilt:

$$U_{s2} = -U + U_{\text{stör}} \quad (2.26b)$$

Der Messumformer subtrahiert die Werte aus beiden Messzeiten:

$$U + U_{\text{stör}} - (-U + U_{\text{stör}}) = 2U \quad (2.26c)$$

Das Ergebnis ist die dem Volumendurchfluss proportionale Messspannung U ; sie ist frei von Störspannungen. Man spricht auch vom System mit automatischem Nullpunkt, denn dieser wird ja bei einer Erregerfrequenz von 6 1/4 Hz sechseinviertel Mal je Sekunde verrechnet.

Mit dem stabilen Nullpunkt erreicht man eine bessere Genauigkeit, und das bei einer unteren Leitfähigkeitsgrenze des Messmediums von 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Wechselfeld

Das System des geschalteten Gleichfeldes hat seine Grenze dort, wo der Messeffekt so kurzzeitig benötigt wird, dass der Messzyklus von 160 ms zu lang ist.

Ein Beispiel dafür ist die Fülltechnik, bei der extrem kurze Messzeiten mit exaktem Ventilschließverhalten gekoppelt sind. Ein weiterer Einsatzfall sind Zweiphasen-Messmedien, also hydraulischer Feststofftransport von z. B. Papierstoff oder Baggergut. Diese Messmedien verursachen bei geschaltetem Gleichfeld eine Rauschspannung, die sich dem Messsignal überlagert und Fehler verursacht. Der Rauscheffekt tritt bei Wechselfelderregung nicht auf.

Die Netzwechselspannung (z. B. 50 oder 60 Hz) wird direkt oder über eine Treiberstufe im Messumformer zur Feldversorgung aufgeschaltet. Wegen der großen Induktivität der Magnetspulen eilen Erregerstrom I und magnetischer Fluss Φ phasenverschoben um nahezu 90° nach.

Die Messspannung U liegt mit Φ in Phase, sie ist also eine netzfrequente, sinusförmige Wechselspannung, deren Amplitude dem Durchfluss proportional ist. Die unterschiedlichen Störspannungen laufen zusammen mit den Signalspannungen in den nachgeschalteten Messumformer, der selektieren muss.

Die Gleichspannungsstörer (Polarisationsspannung) werden kapazitiv ausgekoppelt. Die Wechselspannungsstörer (transformatische und kapazitive Störspannungen) liegen mit der Messspannung U nicht in Phase. Sie werden als gerätebezogene Größen phasenselektiv getrennt und automatisch kompensiert.

Die äußeren Störwechselspannungen lassen sich leider in ihrer Phasenlage und ihrer Größe nicht vorherbestimmen. Alle Anteile, die mit der Messspannung U nicht in Phase liegen, fallen der automatischen Kompensation zum Opfer. Lediglich der In-Phase-Anteil beeinflusst das Messsignal in der Weise, dass er den Systemnullpunkt instabil macht. Diesen Störanteil beseitigt man dadurch, dass man die bei ruhendem Durchfluss auftretenden Messwerte statisch kompensiert.

Die Nullpunkteinstellung lässt sich dann automatisieren, wenn sich während der Messung ein definierter Durchflussstillstand ergibt. Das ist beispielsweise bei Abfüllvorgängen der Fall. Wenn hier das geschlossene Absperrventil „Stillstand“ signalisiert, bekommt der Messumformer den Befehl zur Nullpunktkorrektur. Die Wechselfelderregung gestattet eine Mindestleitfähigkeit des Messmediums von $20 \mu\text{S/cm}$. Die Leitfähigkeitsgrenze lässt sich durch einen Impedanzwandler auf $0,5 \mu\text{S/cm}$ absenken. Die Weiterentwicklung dieser Technik erzeugt in der Treiberstufe eine Wechselfelderregung mit einer Frequenz die deutlich über der normalen Netzfrequenz von 50 oder 60 Hz liegt. Dadurch können nun die Netzfrequenzstörer automatisch eliminiert werden und die Geräte erhalten damit eine Nullpunktstabilität die fast genau so gut ist, wie die der Gleichfeldtechnik.

Signalabgriff

Bei der bisherigen Betrachtung wurde vorausgesetzt, dass die Elektroden mit dem Messmedium galvanisch in Verbindung stehen. Das ist der Normalfall. Es gibt aber Einsatzfälle, bei denen dieses System versagt, beispielsweise bei extrem niedriger Leitfähigkeit oder bei isolierenden Belägen. Die Isolation auf der Elektrode unterbricht den Signalstromkreis.

Die Oberfläche der Normalelektrode und die Oberfläche der Rohrauskleidung bilden eine glatte Fläche. Mit einer spitz ausgeformten Elektrode, die in die Zonen höherer Durchflussgeschwindigkeit hineinragt, erzielt man einen Selbstreinigungseffekt für leicht ablösbare Beläge. In schwierigen Fällen, z. B. bei dicken Fettschichten, hilft die mechanische Reinigung über einen Blindflansch in der Rohrleitung oder nach einer Demontage.

Dieser relativ große Aufwand sichert selten eine Langzeitwirkung. Diese erreicht man nur mit dem kapazitiven Signalabgriff.

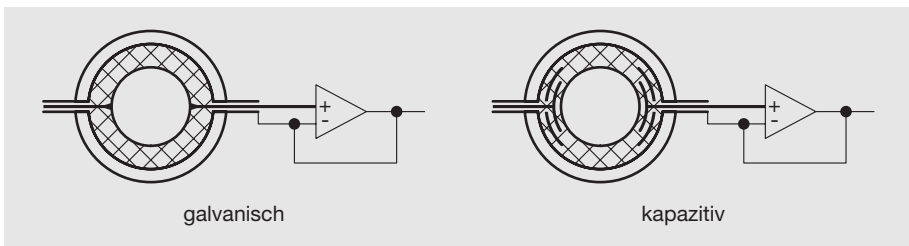


Bild 2-81: Signalabgriff

Zwei metallene Flächenelektroden befinden sich in oder hinter der Rohrauskleidung. Sie bilden mit den die Innenwand benetzenden Flüssigkeitsschichten zwei Kondensatoren, deren Dielektrikum die Auskleidung ist.

Die Signalbildung erfolgt, wie bereits beschrieben, mit dem geschalteten Gleichfeld oder mit Wechselfelderregung. Die erzeugte Spannung lädt die Kondensatoren, so dass außen ein proportionaler Messwert abgegriffen werden kann. Da die Kapazität mindestens 20 pF haben muss, sind die räumlichen Abmessungen nach unten begrenzt, das bedeutet, dass der kleinstmögliche magnetisch-induktive Durchflussmesser nicht unter einer Nennweite von DN 25 liegen kann.

Schirmelektroden zwischen Messelektrode und Rohr verhindern den kapazitiven Durchgriff nach außen. Das Driven-Shield-Verfahren verhindert die Wirksamkeit von Kapazitäten in der Signalleitung und am Schirm. Dabei wird das Potenzial des Signalleiters auf dem Schirm zurückgekoppelt, so dass kein Spannungsgefälle zwischen Leiter und Schirm entsteht.

Die kleinstmögliche Leitfähigkeit beim kapazitiven Signalabgriff beträgt 0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Durchfluss-Messwertaufnehmer

Der magnetisch-induktive Durchflussmesser besteht aus dem Messwertaufnehmer und dem Messumformer. Bestimmend für die Auswahl der Messwertaufnehmer ist der Werkstoff und der Rohrleitungsanschluss. Im Inneren des Messrohres berühren die Rohrauskleidung und die Elektroden das Messmedium. Sie müssen also aus Werkstoffen gefertigt sein, die gegenüber den unter Umständen sehr aggressiven Messmedien chemisch resistent sind. Die am häufigsten verwendeten Auskleidungswerkstoffe sind Hartgummi, Weichgummi, PTFE, PFA, Keramik, die häufigsten Elektrodenwerkstoffe sind CrNi-Stahl 1.4571, 1.4539, Hastelloy, Tantal, Platin.

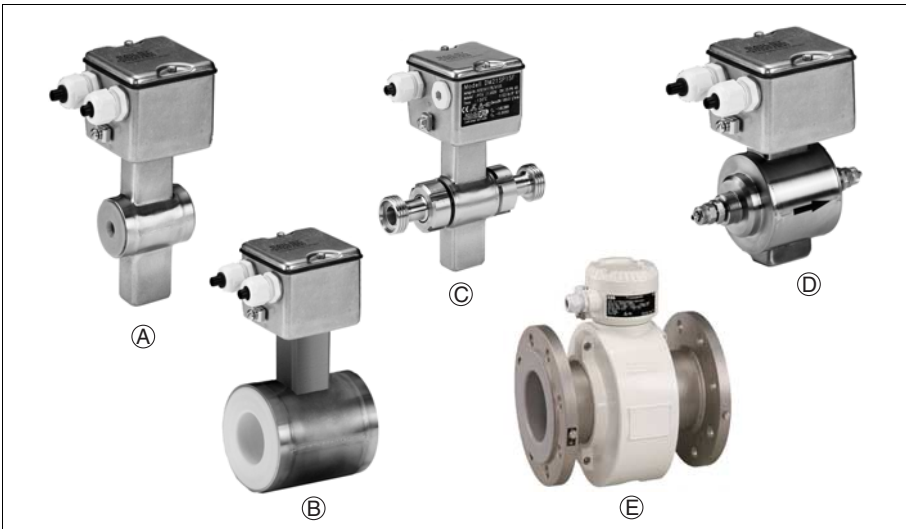
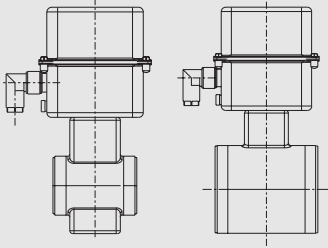


Bild 2-82: Messwertaufnehmer für magnetisch-induktive Durchflussmesser

- A + B Zwischenflanschausführung
- C Rohrverschraubung DIN 11851
- D Hygiene-Ausführung
- E Flanschausführung

Das Äußere des Messwertaufnehmers bilden Gehäuse, Messrohr und Rohranschlüsse. Auch hier bestimmt der Einsatzfall, d. h. die Umgebungsbedingungen, die Werkstoffwahl. Das Messrohr ist physikalisch festgelegt auf austenitischen, also nichtrostenden Stahl. Die Rohranschlüsse sind in der Regel aus Stahl oder nichtrostendem Stahl, während das Gehäuse entweder aus lackiertem Aluminiumguss oder nichtrostendem Stahl besteht.

Zwischenflanschausführung



Ausführung mit variablen Prozessanschlüssen

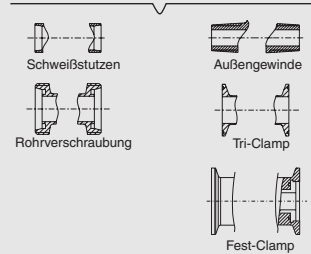
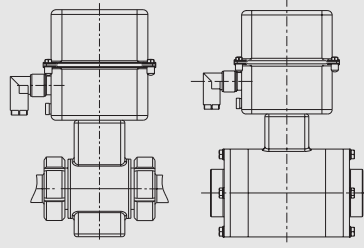


Bild 2-83: Messwertaufnehmer aus nichtrostendem Stahl mit vakuumfester PFA-Auskleidung und variablem Prozessanschluss

Magnetfeldstabilisierung

Nach Gleichung (2.23) ist die Signalspannung U_0 den drei Größen Induktion B , Durchmesser D und Fließgeschwindigkeit v proportional. Eine direkte Abhängigkeit von einer Größe setzt die Konstanz der anderen voraus. Wenn also die Spannung U_0 ausschließlich von der Geschwindigkeit v bestimmt werden soll, müssen Induktion B und Durchmesser D unveränderliche Größen sein. Während D als mechanische Größe stabil ist, ändert sich die Induktion B mit dem Erregerstrom I , und dieser wird durch Überwachung einer im Messwertaufnehmer/Messumformer erzeugten Spannung U_{Ref} konstant gehalten.

Magnetisch-induktive Durchflussmesser werden grundsätzlich bei Durchfluss kalibriert, und zwar bei Umgebungstemperaturen von ca. 20 °C. Wenn das Gerät später bei anderen Temperaturen betrieben wird, verändert sich der ohmsche Anteil des Spulenwiderstandes, mit ihm der Erregerstrom I und die Induktion B , somit auch die Signalspannung U_0 .

Die Erregerspannung ist netzabhängig, kann schwanken und übt dann ebenfalls Einfluss auf den Strom aus.

Die Einflüsse lassen sich durch Strom-Konstanthalter verhindern, eine aufwendige Methode. Ein elegantes Verfahren ist die Kompensationsschaltung.

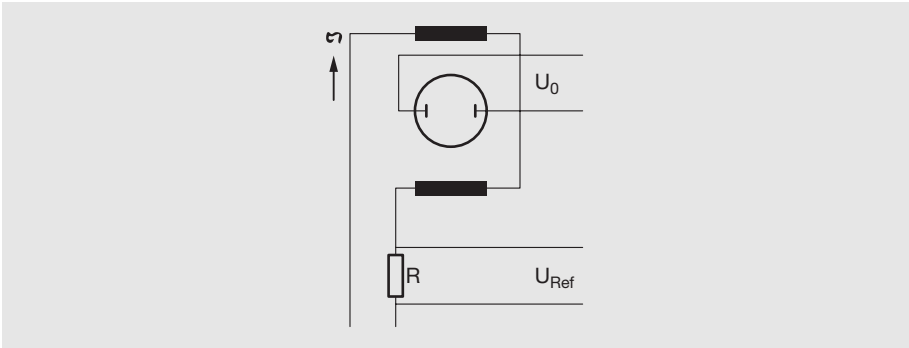


Bild 2-84: Erzeugung der Kompensationsspannung

An einem Widerstand R im Erregerstromkreis entsteht ein Spannungsabfall U_{Ref} , der dem Strom I und damit der Induktion B proportional ist. Auch U_0 ist der Induktion B proportional. Wenn man die beiden Größen ins Verhältnis setzt U_0/U_{Ref} , so entfällt der Einfluss der Induktion B. Aus Grundgleichung (2.23) und (2.24) ergibt sich:

$$q_v = \frac{A}{D} \cdot \frac{U_0}{B} \quad (2.27)$$

ersetzt man B durch U_{Ref} , ergibt sich folgender Ausdruck:

$$q_v = K \cdot \frac{U_0}{U_{\text{Ref}}} \quad (2.28)$$

Die Gleichung mit K als Kalibrierfaktor ist die Basis für die Kalibrierung der magnetisch-induktiven Durchflussmesser von ABB. Der Kalibrierfaktor K wird bei Geräten mit geschalteter Gleichfelderregung durch Kalibriergröße C_z/S_z (Nullpunkt) und C_s/S_s (Spannenwert) nach Erregerfrequenz in ein Speichermodul (EEPROM/FRAM) eingelesen, und weitere Parameter z. B. Nennweite, Messbereich, Impulswertigkeit, Wahl der Ein- und Ausgänge, abgespeichert.

Der eingesetzte Messumformer arbeitet ständig mit diesen Daten und kontrolliert somit auch den Erregerstrom und die Referenzspannung. So befindet sich mit der ständigen Überwachung der Daten auch der Erregerstromkreis unter Kontrolle. Da die Kalibrierwerte und Einstellparameter in digitaler Form im EEPROM/FRAM bzw. SensorMemory abgesichert werden, ist damit auch ein Austausch des Messumformers an jeden beliebigen Messwertaufnehmer möglich. Die einheitliche Messumformer-Elektronik ist universell für alle Nennweitenbereiche einsetzbar.

Messumformer

Die Aufgabe des Messumformers ist es, die relativ kleine Messspannung zu verstärken, von Störspannungen zu befreien, sie in eine verarbeitbare Größe umzuwandeln und den Wert direkt anzuzeigen bzw. zur Weiterverarbeitung bereitzustellen.



Bild 2-85: Plattformkonzept, universelle Messumformer und Messwertempfänger

Unterschiedliche Ausführungen der Messumformer bewirken in Kombination mit dem Messwertempfänger die jeweilige Qualifikation des magnetisch-induktiven Durchflusssystems.

Messumformer FSM4000

Dieser Messumformer gehört zu den wechselfelderregten Durchflussmessern mit erhöhter Erregerfrequenz. Dadurch muss bei der Inbetriebnahme äußerst selten ein Nullpunktgleich erfolgen. Das Messsystem arbeitet mit einer Systemgenauigkeit von $\pm 0,5 \%$ vom Messwert wie ein Gleichfeldgerät. Die Messwertempfänger erhalten eine erweiterte Diagnose mit der der Anwender zusätzliche Informationen für eine eventuell anstehende Überprüfung der Messanlage erhält. Die Kommunikation ist über HART, PROFIBUS PA und FOUNDATION Fieldbus möglich.

Positionierung der Messumformer

Entsprechend den Forderungen des Anwenders ist die Gestaltung eines magnetisch-induktiven Durchflussmesssystems unterschiedlich. Die verschiedenen Varianten des Messwertempfängers wurden bereits erwähnt. Beim Messumformer geschieht diese Anpassung durch Gehäusezuordnungen. Zwei markante Konstruktionen sind die vom Messwertempfänger getrennte Bauform und die räumlich mit dem Messwertempfänger verbundene kompakte Bauform.



Bild 2-86: Getrennte Bauformen mit Messumformer im Wandaufbaugesäuse

Messumformer ProcessMaster / HygienicMaster

Der Messumformer besitzt eine örtliche Durchflussanzeige und -zählung. Die Bedienung erfolgt bei geschlossenem Gehäuse berührungslos über kapazitive Tasten. Die örtliche LCD-Anzeige ist für eine einwandfreie Ablesbarkeit in allen Einbaulagen drehbar. Alle Messstellenparameter werden automatisch überwacht und mögliche Fehler gemeldet. Der Messumformer verfügt standardmäßig über einen konfigurierbaren Stromausgang (4...20 mA) und einen Impulsausgang (Optokoppler, passiv oder aktiv), Schalteingänge und -ausgänge und eine Leerrohrerkennung. Das System hat eine Messwertabweichung $\pm 0,4 \%$ vom Messwert. Die Kommunikation erfolgt wahlweise über HART-Protokoll, PROFIBUS PA oder FOUNDATION Fieldbus.

Die kompakte Bauform des ProcessMasters oder HygienicMasters vereinigt Messwertaufnahme und Messumformer in einem Gehäuse, wobei die örtliche Bedien- und Ablesmöglichkeit sichergestellt ist. Großer Vorteil dieser Varianten ist, dass die Zwischeninstallation von Verbindungskabeln entfällt.



Bild 2-87: ProcessMaster
in kompakter Bauform



Bild 2-88: HygienicMaster
in kompakter Bauform

Online-Diagnosefunktionen erhöhen die Verfügbarkeit

Um dem Betreiber mehr Unterstützung bei der Fehleranalyse zu geben, sind Process-Master und HygienicMaster mit einem Diagnosepaket ausgerüstet, das sowohl prozessbedingte als auch gerätebedingte Störungen aufzeigt. Die Klassifizierung von Diagnosemeldungen erfolgt nach der Namur-Empfehlung NE107 (VDI/VDE Richtlinie 2650). Über die vier dort vereinbarten Symbole werden folgende Statussignale angezeigt:

Symbol	Statussignal	Beispiele für Detailinformation
	Ausfall	Ausfallursache geräteintern Ausfallursache prozessbedingt
	Funktionskontrolle	Konfigurationsänderung Lokale Bedienung Ersatzwert angeben
	Außerhalb der Spezifikation	Gerät außerhalb der Spezifikation betrieben Unsicher durch Umgebungs- und Prozesseinfluss
	Wartungsbedarf	Wartungsbedarf kurzfristig Wartungsbedarf mittelfristig

Über Klartext werden dem Betreiber auch Detailinformationen über die möglichen Fehler gegeben. Als Prozessstörungen werden zum Beispiel Gasblasen, ein leeres Rohr, Teilfüllung, Elektrodenkorrosion oder Elektrodenbelag des Messmediums erkannt. Weiterhin bietet das Diagnosetool direkt Vorschläge (Handlungsanweisungen) für die Behebung der Störung an. Alle diese Informationen sind direkt auf der LCD-Anzeige des Gerätes vor Ort ablesbar.

Über HART- oder Feldbus-Kommunikation lassen sich diese Informationen ebenfalls in Leitsysteme auslesen und dort direkt in einer Plant Access Management- oder Maintenance-Software verarbeiten.

Geräteverifikation im eingebauten Zustand

Mit ScanMaster, einem DTM-basierten Verifikationstool, wird die Funktionalität und Integrität von Messumformer und Messaufnehmer des ProcessMaster oder HygienicMaster im eingebauten Zustand überprüft. Allmähliche Veränderungen, wie z. B. Elektrodenbeläge, welche im ProcessMaster bzw. HygienicMaster 500 als Trend aufgezeichnet werden, liest ScanMaster aus und stellt sie grafisch dar. Das Tool ermöglicht damit die zyklische Überprüfung der Messwerte und der Funktionstüchtigkeit des installierten Gerätes auf einfache Art und Weise. Die ermittelten Prüf- und Testergebnisse werden in einer Datenbank gespeichert und können bei Bedarf abgerufen und ausgedruckt werden.



Bild 2-89: Diagnose- und Verifikationssoftware SanMaster FZC500

FXL5000 (Miniflow) – Für einfache Durchflussmessungen

Eine Alternative zu den bisher genannten Geräten bietet der magnetisch-induktive Durchflussmesser FXL5000 (Miniflow). Er wurde speziell für einfache Durchflussmessungen, die keine besonderen Anforderungen stellen, entwickelt.

Der Nennweitenbereich reicht von DN 10 ($\frac{1}{2}$ “-Gewindeanschluss) bis DN 50 (2“-Gewindeanschluss). Der Messumformer ist direkt auf dem Messwertaufnehmer aufgebaut. Die komplette Einheit ist sehr kompakt, besitzt ein geringeres Gewicht und ist schnell über den Gewindeanschluss in die Rohrleitung einzubauen. Der elektrische Anschluss erfolgt über Stecker. Neben der zweizeiligen LCD-Anzeige, welche den aktuellen Durchfluss und den Zählerstand anzeigt, bietet das Gerät einen durchflussproportionalen 20 mA-Ausgang und einen Impulsausgang. Der Durchflussmesser wird bedienergeführt über Folientastatur, mit Unterstützung von Anzeige-Klartextmeldungen, eingestellt.



Bild 2-90: FXL5000 (Miniflow)

FES7000 (Füll-MAG) – Zum Abfüllen und Dosieren

Genaueres Abfüllen und Dosieren mit hoher Reproduzierbarkeit stellt bei kleinen wie auch bei großen Gebinden oft ein Problem dar. Diese Problematik hat ABB aufgegriffen und bietet für diese Applikationen mit dem FES7000 (Füll-MAG) bzw. dem FXF2000 (COPA-XF) eine Lösung auf der Basis magnetisch-induktiver Durchflussmesser an.

Je nach Applikationsanforderungen (Messmedium, Abfüll- und Dosierzeit, Rahmenbedingungen, etc.) können auch Masse-, Wirbel- und Drall-Durchflussmesser für Batch-Prozesse eingesetzt werden. Steuerungstechnisch bietet der Masse-Durchflussmesser den selben Komfort wie ein FES7000-System (nähere Informationen über diese Geräte siehe jeweilige Gerätebeschreibung).

Mit dem FES7000 steht ein sehr kompaktes und intelligentes magnetisch-induktives Messsystem zur Verfügung, das in seiner schnellen Ansprechzeit, einer speziellen Software für Chargenprozesse und Abfüllapplikationen sowie der CIP/SIP-Reinigungsfähigkeit des mechanisch verschleißfreien Messwertaufnehmers seine Stärken hat. Diese spezielle Software ermöglicht Abfüllungen und Dosierprozesse mit Messzeiten ≥ 500 ms, bei einer Reproduzierbarkeit von $\leq 0,2$ % vom Messwert. In Abfüllsystemen ist eine automatische Nachlaufmengenerfassung und -korrektur mit programmierbarer Mittelwertbildung, welche ventilbedingt ist, von großer Bedeutung. Denn nur Systeme wie der FES7000, die diese Einflüsse und die unterschiedlichsten Rahmenbedingungen kompensieren können, bringen gute, reproduzierbare Messergebnisse.

Gerätetechnik

Das FES7000-System ist in getrennter Bauform ausgeführt. Der Messumformer steht als 19"-Einschubgehäuse und als Feldgehäuse zur Verfügung. Bei den Messwertaufnehmern aus nichtrostendem Stahl kann als Prozessanschluss zwischen allen handelsüblichen Ausführungen gewählt werden. Auch kundenspezifische Anschlussvarianten sind möglich.

Das FES7000-System arbeitet mit definierten Ein- und Ausgangskontakten (Bild 2-91). Vier unterschiedliche Abfüll- und Vorkontaktmengen können direkt im Messumformer eingestellt und über einen Abfüllmengen-Auswahlschalter oder mittels PC, SPS oder eines Prozessleitsystems angewählt werden.

Der Abfüllvorgang wird durch ein Startsignal eingeleitet und das Ventil geöffnet. Nach Erreichen der Vorkontakt- bzw. Endkontaktmenge steuert der Messumformer direkt das Abfüllventil. Mit der Schnittstelle RS 485 können bis zu 32 Messumformer verknüpft und mittels einer Bedienstation, SPS oder Messumformerdialogeinheit konfiguriert werden. Die Anbindung anderer Komponenten wie Regelkreise, Kontrollorgane (Waage) sowie Drucker ist möglich.

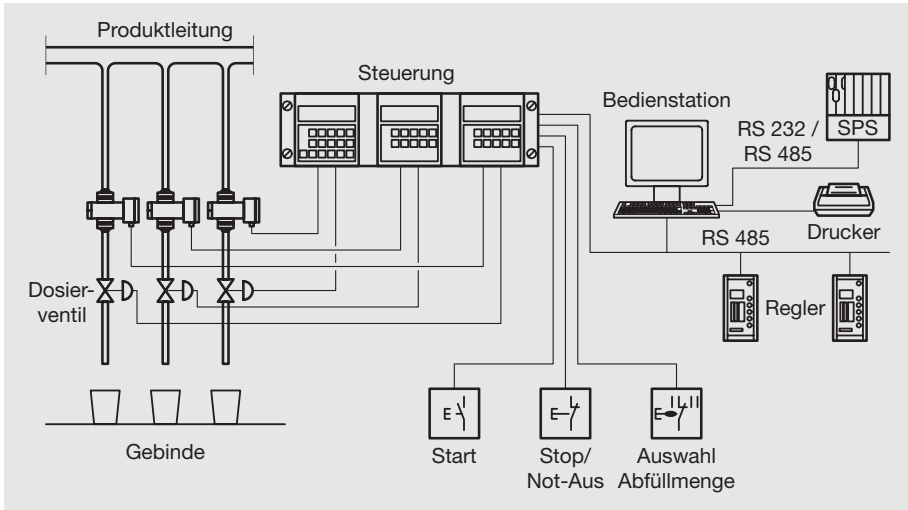


Bild 2-91: Schema einer Abfüllanlage mit übergeordneter Rezeptursteuerung, Regelung und Integration in ein Prozessleitsystem

Besondere Merkmale des FES7000-Systems sind:

- Für schnelle sowie auch kontinuierliche Abfüllvorgänge und Chargenprozesse von Kleinstmengen bis hin zur Containerbefüllung geeignet.
- Nennweiten von DN 1 bis DN 100.
- Genauer, reproduzierbarer Abfüllvorgang und daraus resultierend eine Verringerung der Sicherheitsüberfüllungen.
- Überprüfung auf Einhaltung der freiprogrammierbaren Über- und Unterfüllgrenze nach jeder Abfüllung.
- Automatische Sicherheitsabschaltung über die max. Abfüllzeit bzw. der Systemüberwachung durch den Messumformer.

Einstufiger und zweistufiger Abfüllvorgang

Um eine hohe Reproduzierbarkeit bei Abfüllungen bzw. Dosierungen zu erreichen, sind neben dem Durchflussmesssystem weitere Komponenten wie Ventil, gute Druck- und Niveauregelung sowie das Anlagenkonzept von entscheidender Bedeutung.

Einer der wichtigsten Punkte ist die Güte des Füllventils (schnelle Ansprechzeit, reproduzierbares Schließverhalten). Durch das Schließverhalten des Ventils ergibt sich, bedingt durch die Ventilschließzeit, eine Nachlaufmenge. Diese wird, nach Erreichen der eingestellten Abfüllmenge und Schließen des Ventils durch einen vom Messumformer gesetzten Endkontakt, von der Messumformerelektronik gemessen und über einen speziell dafür entwickelten Regelalgorithmus korrigiert.

Um die ermittelte Nachlaufmenge wird bei der nachfolgenden Abfüllung der Endkontakt früher gesetzt. Somit werden sich kontinuierlich ändernde Nachlaufmengen erkannt und, im Gegensatz zu Abfüllungen mittels externem Vorwahlzähler, automatisch korrigiert. Die Streuung der Nachlaufmenge ist letztlich entscheidend für die Reproduzierbarkeit der Abfüllung. Durch Verwenden des Vorkontaktes (Zweistufiger Abfüllvorgang, Bild 2-92) und damit Reduzierung des Volumenstromes kann die Nachlaufmenge verringert und somit die Reproduzierbarkeit verbessert werden. Voraussetzung ist jedoch eine annähernd gleiche Füllkurve, die vom Ventil, dem Vordruck, dem Anlagenkonzept und letztlich vom Produkt abhängig ist.

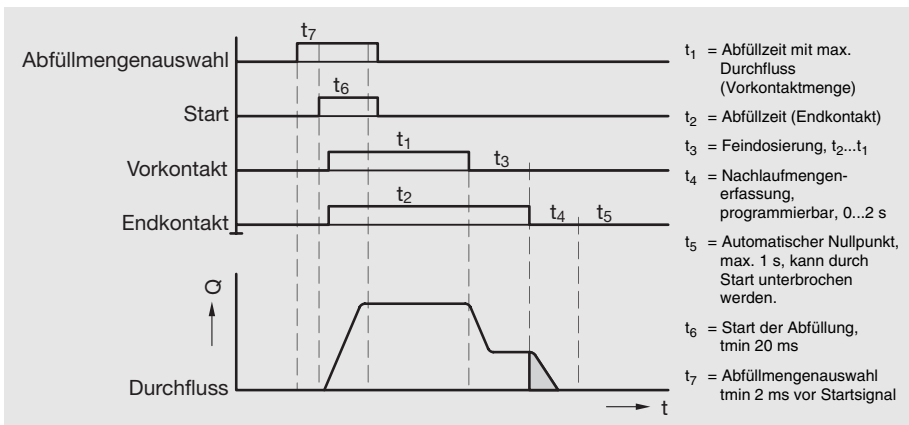


Bild 2-92: Zweistufiger Abfüllvorgang

Bei sehr kurzen Abfüll- und Dosierzeiten (ca. 3 s) empfiehlt es sich jedoch, die Steuerung des Ventils nur über den Endkontakt (Einstufiger Abfüllvorgang, Bild 2-93) vorzunehmen. Vor- und Endkontakt sind frei programmierbar.

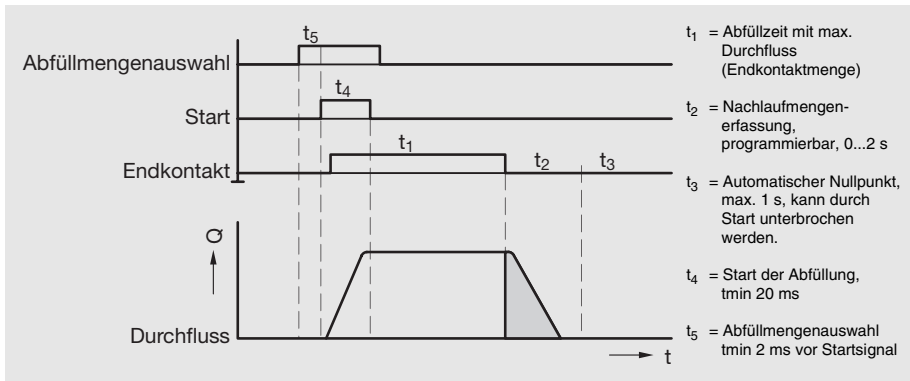


Bild 2-93: Einstufiger Abfüllvorgang

Eichfähigkeit

Das Messsystem ist von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) eichfähig zugelassen. Zulassungen für eine Vielzahl von Messmedien liegen vor. Ein spezieller Einsatzbereich dieses Durchflusssmesssystems ist die KEG-(Mehrwegfass-) Befüllung, sowie die Messung chemischer Produkte. Eine betriebsmäßige Protokollierung der Abfüllungen, eine zentrale Datenerfassung sowie die Einstellparameter Protokollierung für ein Übergabeprotokoll ist möglich. Je nach selektiertem Druckerprotokoll werden unterschiedliche Datensätze über den Drucker für Statistikzwecke ausgegeben.

Das zuvor beschriebene FES7000-System bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten für die Automatisierung unterschiedlichster Prozesse. Eine schnelle Amortisierung des Investitionsumfanges wird durch Reduzierung auf die tatsächlich benötigte Abfüllmenge, der Sicherheitsüberfüllungen und somit Produkteinsparungen, Verbesserung der Produktqualität, Produktivitätssteigerungen sowie einer Gewinnoptimierung der Prozesse durch Reduzierung der Betriebs-, Wartungs- und Servicekosten erreicht.

Magnetisch-induktive Durchflussmesser bieten ferner überzeugende Vorteile gegenüber den bestehenden mechanischen Abfüll- und Dosiersystemen mit Dosierkolben oder -pumpen, Zwischen- bzw. Vordosierbehältern, Flügelradzählern oder Turbinen-Durchflussmessern sowie Wägesystemen.

Vorteile sind unter anderem:

- Verschleißfreies und wartungsarmes System
- CIP/SIP-Fähigkeit des Durchflussmessers und somit Reduzierung der Reinigungs- und Sterilisationszeiten.
- Kürzeste Füllzeiten bei unterschiedlichsten Abfüllmengen durch große Messbereichsspanne.
- Hoher Produktionsausstoß durch optimale Auslastung der Anlage, da Ansaugphase bzw. Tara-Ermittlung, wie bei mechanischen Systemen entfällt.
- Kommunikationsfähigkeit des Messsystems, mit integrierten Stastistikfunktionen.

FXF2000 (COPA-XF) – Für einfache Abfüll- und Dosiervorgänge

Dieser Durchflussmesser in kompakter Bauform ist komplett in nichtrostendem Stahl ausgeführt. Auf Grund seiner geringen Abmessungen ist er ideal für die Batteriemontage in großen Rund- und Reihenfüllern geeignet. Er kann ebenfalls für die kontinuierliche Durchflussmessung eingesetzt werden, wenn als Ausgangssignal lediglich ein Impuls- bzw. Stromausgang, jedoch keine Anzeigefunktion benötigt wird. Die Reproduzierbarkeit des Gerätes beträgt 0,2 % vom Messwert bei Füllzeiten größer 2...4 Sekunden.

Verfügbar ist er in den Nennweiten DN 3 bis DN 100. Als Prozessanschlüsse stehen alle handelsüblichen Prozessanschlüsse zur Verfügung. Auch kundenspezifische Anschlussvarianten sind möglich. Für raue Betriebsbedingungen besitzt der FXF2000 einen Anschluss für die Beaufschlagung des Gerätes mit Instrumentenluft. Ferner können die Geräte in klimafester Ausführung mit lackierten Leiterplatten ausgeführt werden.

Der FXF2000 bietet die Möglichkeit von 3 unterschiedlichen Betriebsarten. Neben der Betriebsart „Batch“ für Abfüll- und Dosierprozesse mit der Funktion als durchflussproportionalem Durchflusssensor und einem Impulsausgang, steht die Betriebsart „Konti“ für kontinuierliche Messungen mit einem zusätzlichen Stromausgang 0/4...20 mA zur Verfügung. Die Betriebsart „Abfüller“ beinhaltet die Funktion eines stand-alone Abfüllsystems und basiert im wesentlichen auf der zuvor beschriebenen FES7000-Technologie.

Da der FXF2000 von seiner Grundfunktionalität ein reiner Durchflussmesser mit Frequenz- bzw. Stromausgang und normierbarem Impulsausgang ist, bedarf es für die Realisierung von Abfüllvorgängen und Dosierungen weitere Hard- und Software. Die wertigkeitsbehafteten Impulse müssen mittels Vorwählzähler, PC, SPS oder PLS aufsummiert und weiterverarbeitet werden.

Abfüllmengenvorwahl, Realisierung einer ein- oder zweistufigen Abfüllung, Start/Stop-Funktion, Nachlaufmengen-Erfassung und -Korrekturen, Kontroll- bzw. Überwachungsfunktionen sowie das Schalten der Ventile obliegen bei diesem Durchflussmessertyp der nachgeschalteten Auswerteelektronik. Diese Elektronik bzw. Software ist gravierend mitbestimmend für die Güte einer Abfüll- und Dosieranlage sowie der Reproduzierbarkeit der Abfüllungen. Das Bild 2-96 zeigt das Schema eines solchen Abfüllsystems.



Bild 2-94: Durchflussmesser FFX2000 (COPA-XF)



Bild 2-95: Durchflussmesser FFX2000 (COPA-XF) in kompakter Bauform mit Kommunikationsmöglichkeit

Ausschlaggebend für die Entwicklung eines solchen Gerätes war die Marktanforderung, einen preisgünstigen, kleinen und leistungsstarken magnetisch-induktiven Durchflussmesser in kompakter Bauform aus nichtrostendem Stahl für Mehrventilfüller bis zu 168 Füllventilen zu entwickeln.

Durch die stattliche Anzahl an Füllventilen pro Anlage, sowie die Möglichkeit, die benötigte Software eigenständig entwickeln und gestalten zu können, ist dieses Anlagenkonzept preislich und technisch interessant.

Einmalig entwickelte Software sowie Know-how kann auf eine Vielzahl von Anlagen übertragen werden. Jeder Anlagentyp kann mit den preisgünstigen Standard-Durchflussmessern ausgestattet werden, erhält jedoch durch die individuelle Software unterschiedliche Bedienoberflächen sowie anlagenspezifische Komponenten.

Da bereits Zentralrechner für andere Steuerungsaufgaben auf den Abfüllmaschinen installiert sind, können diese die Signalverarbeitung, die Abfüllmengenvorgabe und notwendige Korrekturen sowie Schaltfunktionen der Ventile übernehmen.

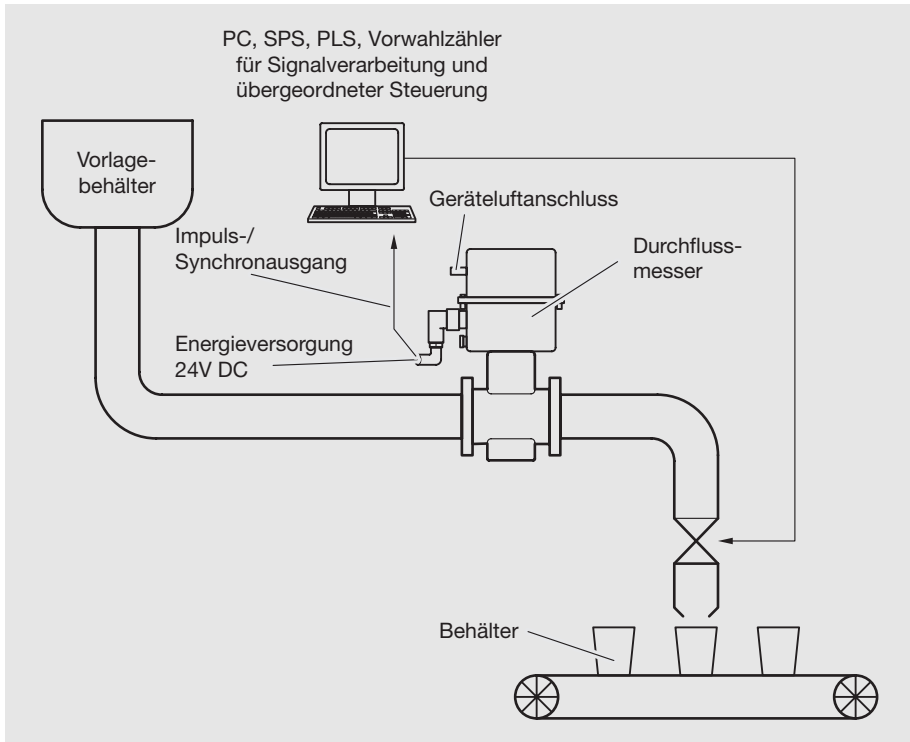


Bild 2-96: Schema eines Abfüllsystems mit dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser FXF2000 (COPA-XF)

Kommunikationsmöglichkeiten

Für die Parametereinstellung und -Kontrolle des Gerätes sind zwei Möglichkeiten gegeben. Im Servicefall kann eine Messumformer-Bedieneinheit mit Anzeige aufgesteckt werden.

Sind Parameteränderungen im Prozess notwendig bzw. werden Informationen aus dem laufenden Betrieb der Anlage benötigt, kann dies über die RS 485-Schnittstelle erfolgen.

Mittels ASCII-Protokoll ist eine Kommunikation mit einem Prozessleitsystem, einer speicherprogrammierbaren Steuerung oder einem PC und der jeweiligen individuellen Software gegeben. Der Anschluss erfolgt über einen separaten Kommunikationsstecker.

Eine Komplettlösung für die Überwachung des Durchflussmessers und die Einstellung von Parametern, ohne Öffnen des Gehäuses, ist durch eine Dialogeinheit mit integrierter Anzeige sichergestellt.

Diese neue Anlagengeneration von volumetrisch arbeitenden Füllmaschinen mit magnetisch-induktiver Durchflussmessung anstelle von Füllsystemen mit Zwischen- bzw. Vordosierbehältern (Einschränkungen bei der Mediumvielfalt sowie Füllzeit) oder Wägesystemen, nutzt die vielen Vorteile, die ein magnetisch-induktives Durchflussmesssystem bietet. Durch CIP/SIP-Fähigkeit, verschleißfreie und wartungsarme Technik, Viskositätsunabhängigkeit sowie der großen Messspanne, wodurch ein schnelles, problemloses Umstellen der Abfüllmenge möglich ist, werden Qualitätsverbesserungen, Produkteinsparungen durch Vermeidung von Überfüllungen, Produktivitätssteigerungen sowie Kostenreduzierungen realisiert.

Auslegung von magnetisch-induktiven Durchflussmessern

Der Anwender gibt die Nennweite des Durchfluss-Messwertaufnehmers mit seiner vorhandenen Rohrleitung vor. Die Kontrollrechnung mit dem aktuellen Durchflusswert sollte dieselbe Nennweite ergeben. Andernfalls muss die Rohrleitung angepasst werden.

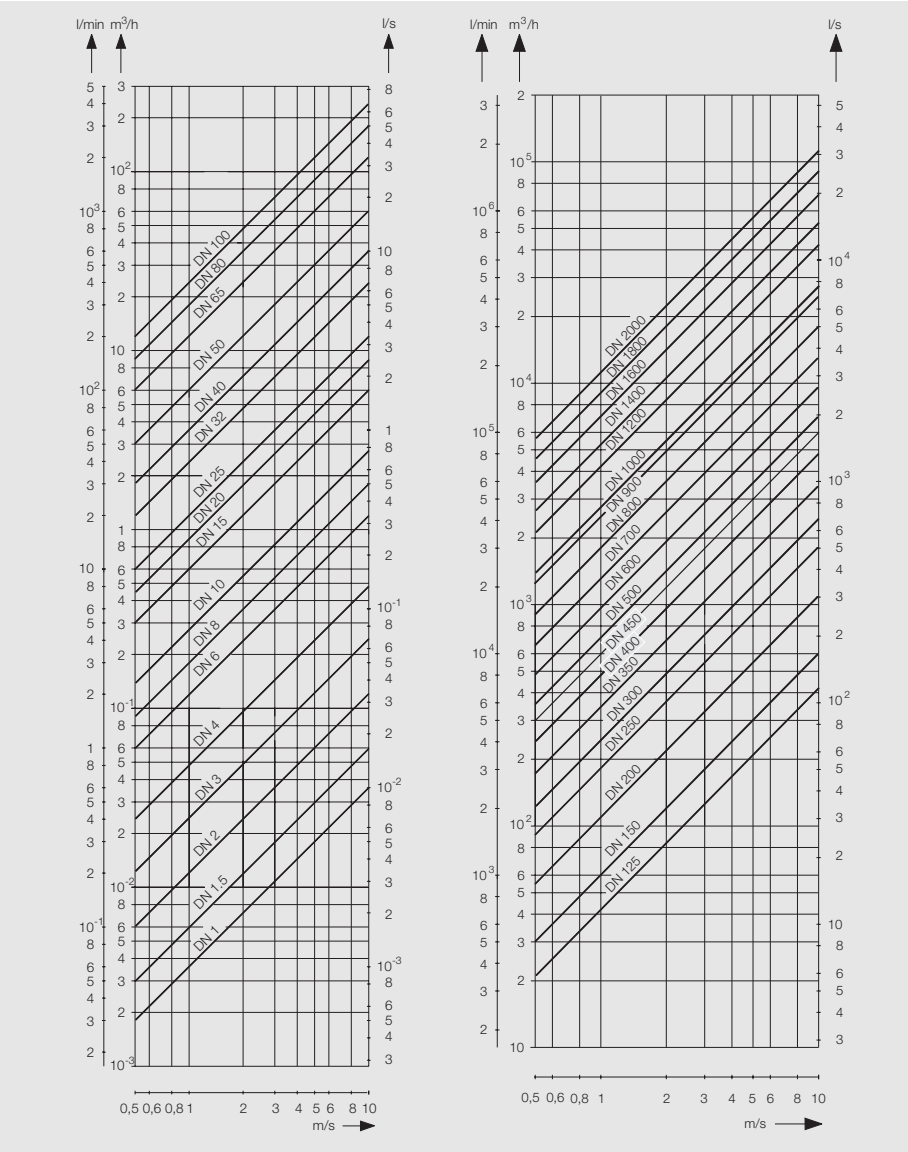


Bild 2-97: Nennweitenabhängige Durchflusswerte

Basis für die Berechnung ist die Fließgeschwindigkeit als nennweiten-unabhängige Einheitsgröße.

Dazu einige Beispiele aus der Praxis, wobei sich die Werte auf den Messbereichsendwert beziehen:

Schlämme, Breie, Pasten	0,5...1 m/s
flüssige Lebensmittel	1...2 m/s
Flüssigkeiten	
in chemischen Prozessen	1...3 m/s
Trinkwasser	3...6 m/s
Wasser als Transportmittel für Feststoffe bis	15 m/s

Mit Hilfe des Nomogramms Bild 2-97 lässt sich die gesuchte Gerätegröße bestimmen. Würde man mit den Daten des Nomogramms den Rohrdurchmesser errechnen, so kann es Unterschiede zwischen dem Rechenwert und dem tatsächlich messbaren Durchmesser geben. Das ist bedingt durch unterschiedliche Auskleidungsstärken, wird aber messtechnisch durch die Kalibrierung ausgeglichen.

Gelegentlich weichen Rohrgröße und errechnete Nennweite des Durchfluss-Messwertaufnehmers voneinander ab, und zwar ist dann in der Regel der magnetisch-induktive Durchflussmesser kleiner. Eine Anpassung durch konische Flanschübergangsstücke ist möglich, wenn der Einschnürungswinkel kleiner als 8° ist.

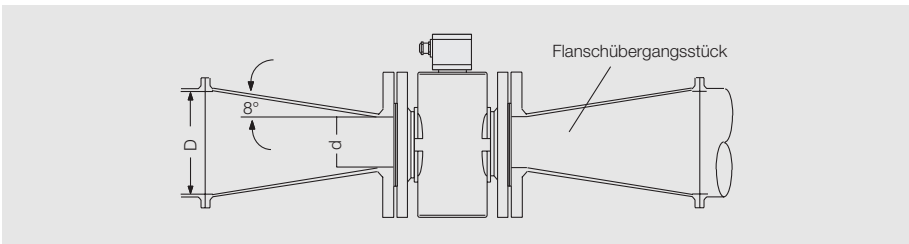


Bild 2-98: Einschnürung an der Messstelle

Der durch die 8°-Einschnürung entstehende Druckverlust lässt sich mit Hilfe des Nomogramms Bild 2-99 errechnen. Dazu wird das Durchmesser Verhältnis d/D ermittelt und die aktuelle Fließgeschwindigkeit v aus der Kurvenschar herausgesucht. Der Schnittpunkt beider Größen gibt auf der Ordinaten den Druckverlust Δp an.

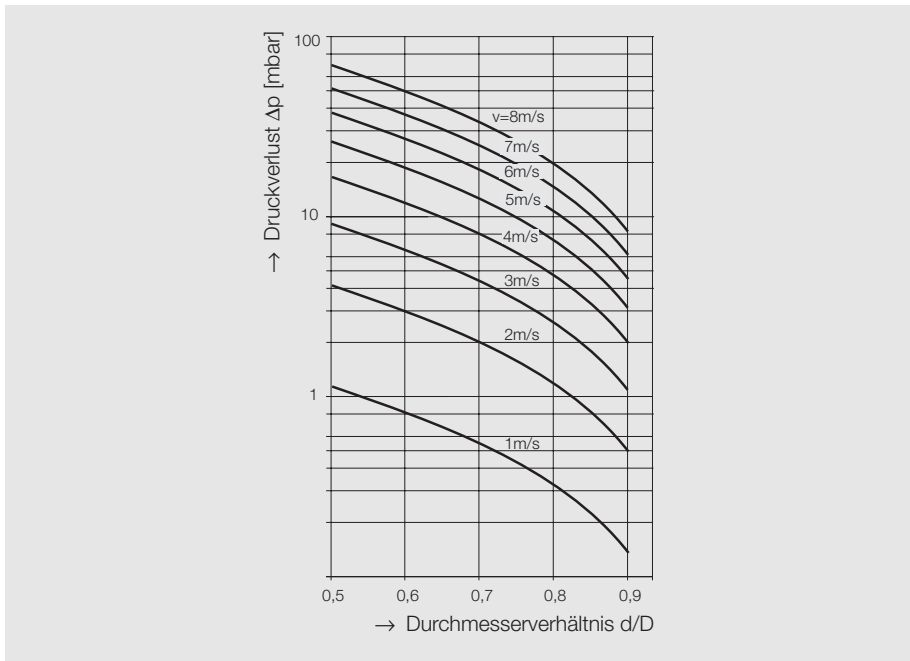


Bild 2-99: Druckverlust bei Rohreinschnürung

Technische Daten

Signalabgriff	galvanisch	
Magnetfelderregung	mit geschalteter Gleichfelderregung	
Modell	ProcessMaster FEP300/500 HygienicMaster FEH300/500	FXF2000 (COPA-XF)
Auskleidungswerkstoff	DN PN	DN PN
Hartgummi	15...2000 10...100 CI150...CI600	
Weichgummi	50...2000 10...40 CL150/CL300	
Ceramic Carbide	25...1000 10...40 CL150/CL300	
PTFE	10...600 10...40 CL150/CL300	
ETFE	25...1000 10...40 CL150/CL300	
PFA	3...200 10...40 CL150/CL300	3...100 10...40
Peek	1...2 10	
Elektrodenwerkstoff	CrNi-Stahl 1.4571 oder 1.4539, Hastelloy C4 oder B2, Titan, Tantal, Platin-Iridium	
Erregerfrequenz	6 1/4 Hz, 12 1/2 Hz oder 25 Hz	12,5/25 Hz
Min. Leitfähigkeit	5 µS/cm	5 µS/cm
Max. mögl. Druckstufe	PN 100/CI600 und höher	PN 40/CI300
Max. mögl. Temperatur	180 °C	130 °C (150 °C)
Elektrodenausführung	Standard-, Spitz-Elektrode	
Prozessanschluss	Flansch DN 3...2000 Zwischenflansch DN 3...100 Schweißstutzen DN 3...100 Rohrverschraubung DN 3...100 Tri-Clamp DN 3...100 Außengewinde DN 3...25 1/8" Sanitäranschluss DN 1...2	Zwischenfl. DN 3...100 Schweißst. DN 3...100 Rohrverschr. DN 3...100 Tri-Clamp DN 3...100 Festclamp DN 10...40 Außengew. DN 3...25
Messbereichsendwert	0,5...20 m/s	0,5...10 m/s
Max. Messwert- abweichung	FEP300/FEH300: 0,4 % v. Messwert opt. 0,2 % v. Messw. FEP500/FEH500: 0,3 % v. Messwert opt. 0,2 % v. Messw.	0,5...10 m/s 0,5 % v. Messwert Reproduzierbarkeit ≤ 0,2 % v. Messwert
Stromausgang	4...20 mA, 4...12...20 mA einstellbar	0...5 mA, 0/2...10 mA, 0/4...20 mA, 0...10...20 mA, 4...12...20 mA einstellbar
Bürde	0...600 Ω	0...600 Ω
Impulsausgang	Passiv, Aktiv	Passiv, Aktiv
Impulsbreite	von 0,1 ms...2000 ms einstellbar	von 0,1 ms...2000 ms einstellbar
Energieversorgung	Schaltnetzteil 85...253 V AC 16,8...26,4 V AC 16,8...31,2 V DC	16,8...31,2 V DC

Tab. 2-5: Übersicht der Messwertaufnehmer- und Messumformerausführungen

Signalabgriff	galvanisch	
Magnetfelderregung	mit geschalteter Gleichfelderregung	
Modell	ProcessMaster FEP300/500 HygienicMaster FEH300/500	FXF2000 (COPA-XF)
Automatische Leerlaufabschaltung	Ja $\geq$ DN 10 (TFE $\geq$ DN 25)	Ja $\geq$ DN 10
Max.-Min.Alarm	Ja	Betriebsarten • kontinuierlich • Batch • Füller
2 Messbereiche	Ja (FEP500/FEH500)	
Vorwahlzähler	Ja (FEP500/FEH500)	
Erweiterte Diagnosfunktionen	Ja (FEP500/FEH500) • Elektrodenbelagserkennung • Gasblasenerkennung • Leitfähigkeitsüberwachung • Aufnahmertemperaturüberwachung • Trendanalyse	–

Tab. 2-6: Fortsetzung: Übersicht der Messwertaufnehmer- und Messumformerausführungen

Technische Daten

Signalabgriff	galvanisch		
Magnetfelderregung	mit Wechselfelderregung		
Modell	FES7000 (Füll-MAG)		FSM4000
Auskleidungswerkstoff	DN PN	DN PN	
Hartgummi		15...2000 10...100	CI150...CI600
Weichgummi		50...2000 10...40	CI150/CI300
Ceramic Carbide		25...1000 10...40	CI150/CI300
ETFE		10...600 10...40	CI150/CI300
PTFE		25...1000 10...40	CI150/CI300
PFA	3...100 10...40	CI150/CI300	3...200 10...40 CI150/CI300
Peek	1...2 10		1...2 10
Torlon	1...2 10		1...2 10
Elektrodenwerkstoff	CrNi-Stahl 1.4571 oder 1.4539, Hastelloy C4 oder B2, Titan, Tantal, Platin-Iridium		
Erregerfrequenz	50/60 Hz AC		50/60/70 Hz AC
Min. Leitfähigkeit	20 µS/cm, Option: 5 µS/cm oder 0,5 µS/cm		
Max. mögl. Druckstufe	PN 40		PN 100/CI600 und höher
Max. mögl. Temperatur	130 °C (150 °C)		180 °C
Elektrodenausführung	Standard-, Spitz-Elektrode		Standard-, Spitz-Elektrode, Swedish-Design
Prozessanschluss	Zwischenflansch DN 3...100 Schweißstutzen DN 3...100 Rohrversch. DN 3...100 Tri-Clamp DN 3...100 Festclamp DN 10...40 Außengewinde DN 3...25	Flansch DN 3...1000 Zwischenflansch DN 3...100 Schweißstutzen DN 3...100 Rohrverschraubung DN 3...100 Tri-Clamp DN 3...100 Außengewinde DN 3...25 1/8" Sanitäranschluss DN 1...2	
Messbereichsendwert	0,5...10 m/s		0,5...10 m/s
Maximale Messwertabweichung	1 % vom Messwert Reproduzierbarkeit ≤ 0,2 % v. Messwert		0,5 % vom Messwert Reproduzierbarkeit ≤ 0,2 % v. Messwert
Stromausgang	–		0/4...20 mA; 0/2...10 mA
Bürde	–		0...600 Ω
Impulsausgang	Passiv (10 kHz)		Aktiv, passiv
Energieversorgung	24, 115, 230 V AC 50/60 Hz		Schaltnetzteil 85...253 V AC 16,8...26,4 V AC 16,8...31,2 V DC
Automatische Leerlaufabschaltung	Ja ≥ DN 10 (außer mit Impedanzwandler)		
Max.-Min.-Alarm	Nein		Ja

Tab. 2-7: Übersicht der Messwertaufnehmer- und Messumformerausführungen

WaterMaster – Für Anwendungen im Wasserbereich

Der WaterMaster verfügt über die erforderliche Flexibilität, die für die anspruchsvollen Anforderungen in der Wasserwirtschaft erforderlich ist und ist zusätzlich eine Investition mit hoher Wirtschaftlichkeit. Er stellt die passende Lösung für Durchflussmessung und -management in so unterschiedlichen Bereichen wie Wasser, Abwasser, Schmutzwasser und vorgereinigtes Abwasser dar. Innovative und vielseitige Funktionen ermöglichen Interoperabilität in einer breiten Palette von Systemen zur Betriebsmittelverwaltung. Besonders hervorzuheben ist seine Schnelligkeit, Unkompliziertheit und einfache Bedienbarkeit.

Modernes Design des Messwertaufnehmers

Die innovative, achteckige Aufnehmerkonstruktion verbessert das Durchflussprofil und reduziert die Anforderungen an vor- und nachgeschaltete Rohrleitungen für die gängigsten Installationsgrößen von DN 40 bis DN 300. Durchflussmesser mit herkömmlichen Messwertaufnehmerkonstruktionen sind für Größen bis über DN 2000 gebräuchlich. Durch die Verwendung einer höheren Erregerfrequenz und einer verbesserten Filterung sorgt der WaterMaster für eine erhöhte Messgenauigkeit, indem durch Flüssigkeiten und Elektroden verursachte Störsignale reduziert werden.

Eintauchbare und erdverlegte Installation

Alle WaterMaster-Messwertaufnehmer zeichnen sich durch eine robuste, widerstandsfähige Bauweise aus, die auch unter der in der Wasser- und Abwasserindustrie herrschenden hohen Beanspruchung eine lange, wartungsfreie Nutzungsdauer gewährleistet. Die Messwertaufnehmer sind standardmäßig unter Wasser einsetzbar (IP 68, NEMA 6P) und damit auch für die Installation in Kammern und Messschächten geeignet, die überflutet werden können. Alle Baugrößen eignen sich auch für die Erdverlegung. Hierzu wird lediglich die unterirdische Rohrleitung freigelegt, der Messwertaufnehmer eingebaut, mit dem Messumformer verbunden und anschließend der Aushub wieder verfüllt.



Bild 2-100: Magnetisch-induktive Durchflussmesser WaterMaster

Eichpflichtiger Verkehr

Der WaterMaster hat für Rohrleitungen mit beliebiger Montagelage und bidirektionalem Durchfluss eine MID/OIML R49 Zulassung für die Genauigkeitsklassen 1 und 2. Ein Wasserzähler mit MID-Zulassung eignet sich für Abrechnungszwecke. Er bietet ein hohes Maß an Messsicherheit und schafft damit Vertrauen in die Messergebnisse.

Selbstkalibrierung

Im WaterMaster wurde das einmalige, zum Patent angemeldete Selbstkalibrierungskonzept von ABB implementiert. Die Erfüllung der Anforderungen gemäß OIML R49 Typ P (permanent) bedeutet, dass ein magnetisch-induktiver Durchflussmesser Selbsttesteigenschaften besitzt, wobei ein simuliertes Signal in den Messumformereingang eingespeist und dann geprüft wird, ob das Ausgangssignal innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte liegt. Beim WaterMaster geht ABB noch einen Schritt weiter. Das Signal wird nicht nur für die Genauigkeitsprüfung, sondern auch für die automatische Selbstkalibrierung verwendet. Damit werden die Anforderungen gemäß OIML nicht nur übererfüllt, sondern das Gerät verfügt auch über folgende Merkmale und Funktionen:

- Selbstkalibrierung
- Keine Werkskalibrierung erforderlich
- Kontinuierliche Nachkalibrierung während des laufenden Betriebs
- Besonders hohe Langzeitstabilität
- Sehr niedriger Temperaturkoeffizient
- Messgenauigkeit von nur einem Präzisionswiderstand abhängig
- Anzeige der Einstellwerte in % für Diagnosezwecke.
- Alarmgrenzen für Hardwarefehler und Bereichsüberschreitungen

VeriMaster Insitu-Verifikations-Software

Der WaterMaster lässt sich mit der Software VeriMaster für die Insitu-Verifikation erweitern. VeriMaster ist eine PC-Anwendung. Wird der PC über einen Infrarot-Serviceport an den WaterMaster angeschlossen, lässt sich die Genauigkeit des Gesamtgeräts, also des Messwertaufnehmers und des Messumformers, protokollieren. Diese Technologie basiert auf der mehr als zehnjährigen Erfahrung, die ABB mit der CalMaster-Reihe bei der Insitu-Verifikation gesammelt hat. VeriMaster ist schnell und einfach zu bedienen und nutzt die modernen Selbstkalibrierungs- und Diagnosefunktionen des WaterMasters in Verbindung mit der Fingerprinting-Technologie. Die Genauigkeit des Durchflusssmesssystems lässt sich damit innerhalb von $\pm 1\%$ der ursprünglichen Werkskalibrierung bestimmen. Zur Erfüllung gesetzlicher Vorschriften ermöglicht das VeriMaster-System auch das Ausdrucken von Prüfprotokollen.

VeriMaster lässt sich problemlos integrieren:

- Keine Unterbrechung von Verdrahtungen.
- Kein Entfernen des Deckels, die Bedienung erfolgt berührungslos über den Infrarot-Serviceport.
- Keine Messunterbrechung.

Bei Bedarf kann der Bediener zusätzlich die Genauigkeit der Strom- und Impulsausgänge prüfen und protokollieren.

Bessere Messergebnisse durch digitale Signalverarbeitung

Die digitale Signalverarbeitung (DSP) verbessert die Leistung und ermöglicht Echtzeitmessungen für höchste Zuverlässigkeit. Durch die DSP-Technologie ist im Messumformer die Trennung von eigentlichem Nutzsignal und Rauschen möglich. Das Resultat sind qualitativ hochwertige Signalausgaben, insbesondere unter extremen Umgebungsbedingungen wie Vibrationen, Hydraulikgeräuschen und Temperaturschwankungen.

Geschwindigkeit, einfache Handhabung und Sicherheit vor Ort

Die Datenspeicherung nach dem „SensorMemory“-Prinzip im WaterMaster macht einen Abgleich von Messwertaufnehmer und Messumformer vor Ort überflüssig. Bei der Erstinstallation werden im Rahmen der Selbstkonfiguration automatisch alle Kalibrierfaktoren, Nennweiten und Seriennummern der Messgeräte sowie standortspezifische Einstellungen in den Messumformer kopiert. Damit werden Fehler ausgeschlossen und die Zeit zur Inbetriebnahme verkürzt. Sowohl im Messwertaufnehmer als auch im Messumformer werden während des gesamten Betriebs kontinuierlich die redundanten Datenspeicher aktualisiert, um eine optimale Zuverlässigkeit der Messungen zu gewährleisten. Der integrierte „SensorMemory“ vermeidet mögliche Probleme, die bei Verwendung steckbarer Datenspeichermodule auftreten können. Die leicht zugängliche Verdrahtung verkürzt die Zeit zur Fehlersuche und -behebung vor Ort auf ein Minimum.

Genaue Diagnose für eine schnelle Entscheidungsfindung

Der WaterMaster verfügt über eine hohe Robustheit und Zuverlässigkeit sowie über umfangreiche Diagnosefunktionen, welche die erforderlichen Informationen zur Aufrechterhaltung des Prozesses liefern. Die Alarme und Warnhinweise sind gemäß NAMUR NE107 in die dort definierten Kategorien „Wartung erforderlich“, „Funktions-test“, „Störung“ und „Außerhalb der Spezifikation“ eingeteilt.

Aquaprobe – Die Durchflusssonde

Eine Sonderstellung bei den magnetisch-induktiven Durchflussmessverfahren nimmt die Durchflusssonde Aquaprobe ein. Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen magnetisch-induktiven Durchflussmessern wird die Durchflusssonde von außen, ohne Zertrennen der Rohrleitung über einen Stutzen eingebaut. Dieses minimiert die Montagekosten.

Der Einbau kann bei laufendem Betrieb sogar in die unter Druck stehende Rohrleitung erfolgen. Das Magnetfeld der Aquaprobe durchsetzt nicht wie bei dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser den gesamten Rohrquerschnitt. An einem repräsentativen Punkt im Rohrquerschnitt wird die Fließgeschwindigkeit ermittelt und der Durchfluss im Messumformer berechnet. Die Aquaprobe eignet sich sowohl für den stationären, als auch für den mobilen Einsatz. Besondere Anwendungsgebiete sind Durchflussmessungen im Trinkwassernetz. Hier kann mit der Aquaprobe der Durchfluss und die Fließrichtung in einzelnen Abschnitten des Leitungsnetzes ermittelt werden. Auch bei sehr kleinem Durchfluss bleibt die Messgenauigkeit von 2 % vom Messwert erhalten. Damit eignet sich die Aquaprobe auch zur Lecküberwachung im Trinkwassernetz.

Über den am Sensor vorhandenen $\frac{1}{2}$ “-Anschluss kann ein Druck-Messumformer an die Aquaprobe angeschlossen werden. Damit ist neben der Durchflussmessung auch eine Druckmessung möglich. Im Trinkwassernetz sind mit Hilfe dieser beiden Messwerte (Druck und Durchfluss) Rückschlüsse auf Inkrustierungen/Ablagerungen in der Rohrleitung möglich. Inkrustierungen/Ablagerungen beeinflussen z. B. im Brandfall den max. aus der Leitung entnehmbaren Löschwasserdurchfluss.



Bild 2-101: Durchflusssonde Aquaprobe

2.2.7 Ultraschall-Durchflussmesser

Die **Schallgeschwindigkeit** c ist als Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Schallwellen in einem Medium eine stoffspezifische Größe. Sie ist abhängig von der Dichte des Mediums. Die Dichte ist bei Flüssigkeiten eine Funktion der Temperatur und bei Gasen eine Funktion der Temperatur und des Druckes. Wird ein Schallimpuls von einem Ort A gesendet, so erreicht er den zweiten Ort B nach der Zeit:

$$t = \frac{l}{c}$$

Die Zeit ändert sich dann, wenn sich der Schallträger selbst bewegt, und zwar durch die Addition der Schallgeschwindigkeit im Medium und der Geschwindigkeit des Mediums. Dieser Mitführungseffekt wird beim Ultraschall-Durchflussmessgerät genutzt.

Für die Ultraschall-Durchflussmessung gibt es zwei grundlegende Methoden:

1. Laufzeitverfahren
2. Doppler-Verfahren

Laufzeitverfahren

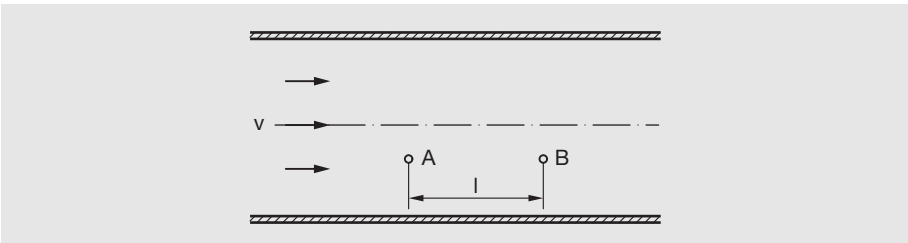


Bild 2-102: Schallstrecke im Flüssigkeitsstrom

Der von einem festem Punkt A abgesandte Schallimpuls bewegt sich mit der Geschwindigkeit $c + v$ und erreicht den Punkt B nach der Zeit t_1 :

$$t_1 = \frac{l}{c + v} \quad (2.29a)$$

Ein von B nach A laufender Impuls benötigt die Zeit t_2 :

$$t_2 = \frac{l}{c - v} \quad (2.29b)$$

Da die Messung von t_2 unmittelbar nach t_1 erfolgt, kann für diese Zeit die Schallgeschwindigkeit c im Medium konstant angenommen werden. Daraus folgt, dass mit:

$$c = \frac{l}{t_1} - v \quad c = \frac{l}{t_2} + v$$

die Fließgeschwindigkeit im Messmedium mit:

$$v = \frac{l}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (2.30)$$

angegeben werden kann. Dieser Messwert ist unabhängig von der Schallgeschwindigkeit, dem Druck, der Temperatur und der Dichte des Messmediums.

In der praktischen Geräteausführung wird ein Schallimpuls diagonal durch das Messrohr gesendet. Damit ist die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums:

$$v = \frac{l}{2 \cdot \cos \alpha} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right)$$

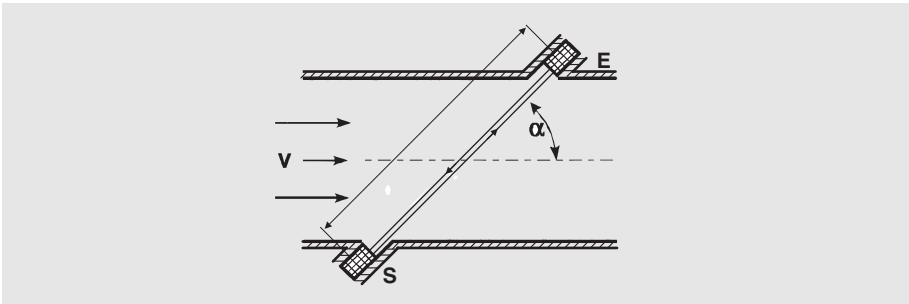


Bild 2-103: Schema der Laufzeit: E = Empfänger, S = Sender

Eine Grundbedingung für die Laufzeitmessung, ist die weitgehende akustische Transparenz des Messmediums. Es sollten wenige Festkörper oder Gasblasen im Messmedium vorhanden sein.

Doppler-Verfahren

Bei der Ultraschall-Durchflussmessung mit Hilfe des Doppler-Effekts müssen Inhomogenitäten oder Verunreinigungen (Streuer) im Messmedium vorhanden sein, damit ein Teil der Schallenergie reflektiert werden kann.

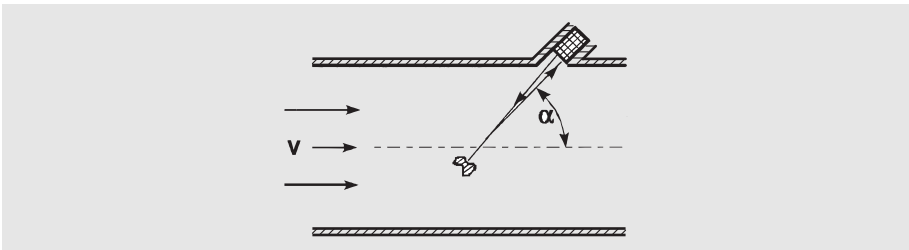


Bild 2-104: Schema des Doppler-Prinzips

Der mit der Frequenz f_1 auf den Streuer treffende Schall wird vom Streuer reflektiert. Folglich fungiert jeder Streuer im Schallfeld als bewegter Sender mit der Schallfrequenz f_1 . Die Frequenzverschiebung Δf des empfangenen, reflektierten Signals ist eine Funktion der Strömungsgeschwindigkeit und der Schallgeschwindigkeit:

$$\Delta f = 2 \cdot f_0 \cos(\alpha) \cdot \frac{v}{c}$$

Da die Schallgeschwindigkeit von Temperatur, Druck und der Zusammensetzung des Messmediums abhängt und kleinere Änderungen dieser Größen bereits die Dopplerverschiebung beeinflussen, ist hier eine geeignete Kompensation vorzusehen. Eine Lösung besteht darin, eine definierte Einlaufstrecke für den Ultraschall vorzusehen, z. B. eine Schallstrecke aus Harz, in das ein Piezoschwinger eingegossen ist.

Nach dem Brechungssatz von Snellius ist:

$$\frac{\cos(\alpha)}{c} = \frac{\cos(\beta)}{c_v}$$

und es folgt:

$$\Delta f = 2 \cdot f_0 \cos(\beta) \cdot \frac{v}{c}$$

und damit:

$$v = \frac{c_v}{2 \cdot f_0 \cdot \cos(\beta)} \cdot \Delta f = \text{konstant} \cdot \Delta f$$

Der Faktor $c_v / \cos(\beta)$ ist bestimmbar. Die Doppler-Verschiebung ist damit weitgehend unabhängig von der Schallgeschwindigkeit im Messmedium. Nur die Schallgeschwindigkeitsänderung in der akustischen Einlaufstrecke ändert die Doppler-Frequenz. Die Änderung ist jedoch vorher bestimmbar und lässt sich somit herausrechnen.

Grenzen der Durchflussmessung

Für die Ultraschall-Durchflussmessung gilt, dass die Strömungsgeschwindigkeit im engen Bereich des Schallstrahls erfasst wird. Für den gesamten Rohrquerschnitt kann der errechnete Durchfluss nur bei rotationssymmetrischem Strömungsprofil gültig sein. Um das sicherzustellen, sind Einlaufstrecken von bis zu $15 \times D$ und Auslaufstrecken von bis zu $10 \times D$ erforderlich. Man kann die Empfindlichkeit gegenüber Unsymmetrien in der Strömung dadurch verbessern, indem man mit zwei oder mehr Schallwegen arbeitet, die das Strömungsprofil in mehreren Ebenen abtasten.

Einbau

Ultraschall-Durchflussmessgeräte werden in zwei Varianten angeboten. Es gibt Inline-Systeme und Clamp-on-Systeme. Bei den Inline-Geräten liegen die Ultraschallwandler fest in der Rohrwand und berühren das Messmedium mittelbar oder unmittelbar. Diese Messsysteme können kalibriert werden und erreichen eine Messgenauigkeit von $\pm 0,5 \%$ vom Messwert und besser.

Anders ist es bei der Clamp-on-Technologie. Hier werden die Ultraschallwandler von außen auf die Rohrleitung aufgesetzt. Der Schallimpuls muss die Rohrwandung und eventuelle Ablagerungen mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten zweimal durchdringen. Bei der Montage müssen die Brechungs- und Reflexionsgesetze beachtet werden. Die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit bereitet keine größeren Probleme, jedoch muss die genaue Rohrgeometrie bekannt sein, wenn auf eine Volumengröße umgerechnet werden soll.

Diese Messsysteme können nur trockenkalibriert werden und erreichen damit Messgenauigkeiten besser $\pm 2,0 \%$ vom Messwert. Kann aus Betriebsdaten eine Vor-Ort-Kalibrierung durchgeführt werden, lassen sich Messgenauigkeiten von bis zu $\pm 0,5 \%$ vom Messwert erreichen.

Technische Daten	
Nennweite	DN 25...DN 3000 Ab Nennweite DN 600 werden Clamp-on-Systeme bevorzugt
Fließgeschwindigkeit Messgenauigkeit	1...10 m/s + 0,5 % vom Messwert bei Inline + 2,0 % vom Messwert bei Clamp-on
Maximale Messmedium- temperatur	-40 °C...260 °C mit Sonderkonstruktionen bis zu 500 °C und mehr

2.2.8 Coriolis Masse-Durchflussmesser

Messprinzip

Für die Berechnung und Bilanzierung verfahrenstechnischer Prozesse bevorzugt man Masseangaben, die unabhängig von physikalischen Einflüssen sind, im Gegensatz zu Volumenangaben. Druck, Dichte, Temperatur, Viskosität verändern die Masse nicht. Deshalb ist der Massedurchfluss eine gefragte Messgröße. Masse lässt sich nur mittelbar messen, z. B. unter Zuhilfenahme des zweiten Gesetzes von Newton, das aussagt, dass Kraft gleich Masse mal Beschleunigung ist. Beim Wiegen bedient man sich der Erdbeschleunigung und wendet dieses Gesetz an.

Wie kann man die Masse von Flüssigkeiten unter Berücksichtigung der genannten Zusammenhänge feststellen? Man muss die Flüssigkeiten in einem rotierenden System beschleunigen und Trägheitserscheinungen registrieren. Dazu greift man auf einen physikalischen Effekt zurück, der den Namen des französischen Mathematikers Coriolis trägt.

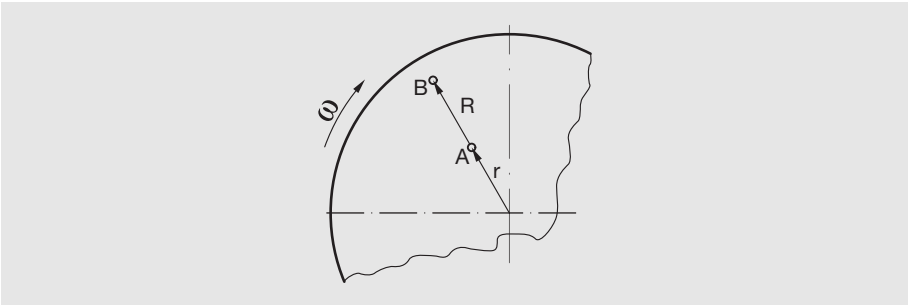


Bild 2-105: Rotierende Scheibe

Auf einer mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotierenden Scheibe befindet sich im Punkt A mit der Mittelpunktentfernung r eine Masse m , die radial nach B mit dem Radius R verschoben werden soll, also an die Stelle mit größerem Drehmoment und größerem Energieinhalt.

Wird dem System keine Energie zugeführt, so erreicht die Masse m den Punkt B nicht, oder es wird eine andere Größe verändert, nämlich ω . Die Trägheitskraft, die sich der Veränderung entgegenstellt, ist die Coriolis-Kraft F_c :

$$\vec{F}_c = -2 m (\vec{\omega} \times \vec{v}) \quad (2.35)$$

$\vec{v}$ ist die Geschwindigkeit der Masse auf dem Weg von A nach B. Diese Gesetzmäßigkeiten werden auf ein flüssigkeitsgefülltes Rohrsystem übertragen.

Messprinzip: Strömt Masse durch ein vibrierendes Rohr, entstehen Coriolis-Kräfte, die das Rohr verbiegen bzw. verdrehen. Diese sehr kleinen Messrohrverbiegungen werden durch optimal angeordnete Sensoren abgegriffen und elektronisch ausgewertet. Da die gemessene Phasenverschiebung der Sensorsignale proportional zum Masse-durchfluss ist, kann mit dem Coriolis Masse-Durchflussmesser direkt die durch das Messgerät geförderte Masse ermittelt werden.

Das Messprinzip arbeitet unabhängig von Dichte, Temperatur, Viskosität, Druck und Leitfähigkeit. Die Messrohre schwingen immer in Resonanz. Diese sich einstellende Resonanzfrequenz ist eine Funktion der Messrohrgeometrie, der Werkstoffeigenschaften und der im Messrohr mitschwingenden Masse des Messmediums. Sie gibt eine genaue Aussage über die Dichte des zu messenden Mediums. Zusammenfassend kann man sagen, dass mit dem Coriolis Masse-Durchflussmesser gleichzeitig die Bestimmung von Massedurchfluss, Dichte und Temperatur möglich ist.

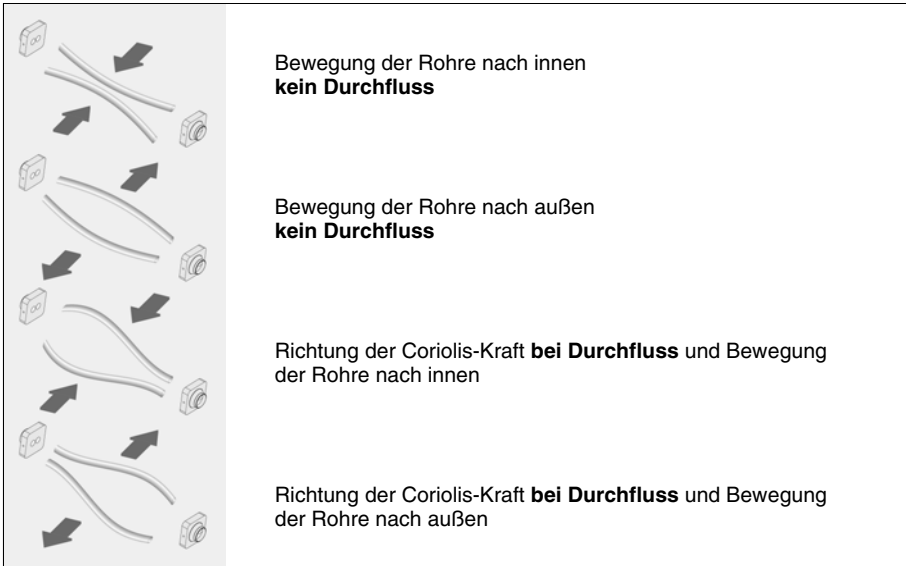


Bild 2-106: Vereinfachte Darstellung der Wirkung der Coriolis-Kraft

Vorteile des Messverfahrens:

- Universelles Messsystem für Durchfluss, Dichte und Temperatur, unabhängig von
 - Leitfähigkeit
 - Ein- und Auslaufstrecken
 - Strömungsprofil
 - Dichte des Messmediums und damit Druck und Temperatur
- Direkte Masse-Durchflussmessung
- Sehr hohe Messgenauigkeit (typisch $\pm 0,15 \%$ v. M.)
- Multivariables Messprinzip, gleichzeitiges Messen von
 - Massedurchfluss
 - Volumendurchfluss
 - Dichte
 - Temperatur
- Keine beweglichen Teile, damit verschleißfrei

Nachteile des Messverfahrens:

- Relativ hoher Beschaffungspreis (bei einer Messgenauigkeit von 0,15 % v. M.)
- Einsatzgrenzen bei mehrphasigen Messmedien oder hohem Gasanteil.
- Ablagerungen oder Abrasion können zu Fehlern, besonders in der Dichtemessung führen
- Begrenzte Materialauswahl für messmediumberührte Teile, Korrosion ist besonders zu prüfen

Doppelrohr-Messsystem

Die überwiegende Zahl der Coriolis-Durchflussmesser folgt heute im Aufbau dem Doppelrohrprinzip mit Strömungsteiler und zwei gebogenen Messrohren. Der Vorteil dieses Aufbaus, wie z. B. im CoriolisMaster-MC2 von ABB, ist seine Temperaturbeständigkeit und insbesondere die Entkopplung der Messrohrschwingung gegenüber Schwingungen von außen. Die Amplituden der Schwingung, die zur Bestimmung der Phasenverschiebung benötigt werden, misst man zwischen den Messrohren und nicht gegenüber dem Gehäuse. Eventuelle Schwingungen des Gehäuses haben so keinen Einfluss auf das Messergebnis.

Aufgrund des wesentlich stabileren und deutlicheren Signals bietet dieses System die genauesten Messungen bei gleichzeitiger Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen. Ein gut konstruiertes Doppelrohr ist mit geringer Energie in seiner Resonanzfrequenz in Schwingung zu versetzen und zu halten und liefert so Messsignale auch bei geringsten Durchflüssen. Das Doppelrohrprinzip macht heute ca. 80 bis 90 % aller Anwendungen aus.



Bild 2-107: gebogenes Einrohrprinzip

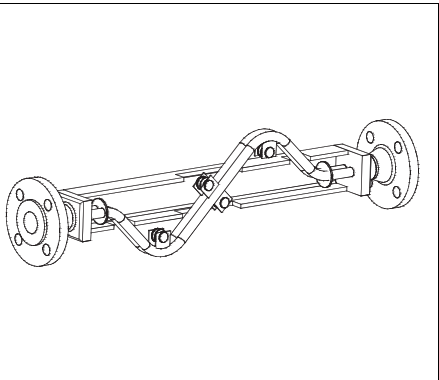


Bild 2-108: Doppelrohrprinzip

Einrohr-Messsystem

Neben dem Doppelrohrprinzip gibt es das Einrohrprinzip, wie z. B. beim CoriolisMaster-MS2 von ABB. Um die oben genannte Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Schwingungen zu erhalten, werden in diesem Modell in Schleifen gebogene Messrohre verwendet. Die Amplituden der Schwingung, und damit die Phasenverschiebung, werden zwischen den Rohrschleifen und nicht gegen das Gehäuse gemessen. Dieses Prinzip bietet insbesondere bei kleineren Rohrdurchmessern Vorteile, da hier auf einen Strömungsteiler verzichtet werden kann.

Das gerade Einrohrprinzip hat den Vorteil einer leichten Reinigung, eines reduzierten Druckverlustes und einer schonenden Behandlung des Messmediums. Diese Vorteile werden jedoch mit einer prinzipiell geringeren Messgenauigkeit und einer höheren Anfälligkeit gegenüber äußeren Schwingungen erkauft. Aufgrund des geraden Messrohres muss die Schwingungsamplitude gegen das Gehäuse gemessen werden. Wenn das Gehäuse ebenfalls Schwingungen unterliegt, können diese nur schlecht kompensiert werden. Zusätzlich sind die aufgenommenen Messsignale wesentlich kleiner, was zu der bereits erwähnten geringeren Messgenauigkeit, insbesondere bei der Dichtemessung, führt.

Ein gerades Einrohr ist nur schwer in Schwingung zu versetzen und zu halten. Die Elastizität eines Rohres hängt direkt von der Rohrwandstärke ab. Daher müssen schwingende gerade Rohre besonders dünn konstruiert werden und sind in den verfügbaren Nennweiten eingeschränkt. Bei abrasiven oder korrosiven Messmedien kann die dünne Rohrwandstärke jedoch eine zusätzliche Unsicherheit bringen.

Anwendungsbereiche

Aufgrund der bereits erwähnten Vorteile des Messprinzips verwundert es nicht, dass immer mehr Industriezweige von anderen Messprinzipien auf das Coriolis-Prinzip wechseln. Insbesondere die direkte Massemessung überzeugt, da viele Rezepturen oder Prozesse auf der Masse der eingesetzten Stoffe beruhen. Frühere Abhängigkeiten von Dichteschwankungen und damit Temperatur- oder Druckänderungen gehören der Vergangenheit an. Musste früher ein Volumensignal erst in ein Massesignal umgerechnet werden, kann dies bei der Coriolis-Technik entfallen.

Da diese Technologie zusätzlich von Eigenschaften des Messmediums wie z. B. Leitfähigkeit, Strömungsprofil, Dichte, Viskosität u. ä. unabhängig ist, können fast alle Stoffe gemessen werden: z. B. Öle und Treibstoffe, Reinigungs- und Lösungsmittel, Fette, Silikonöle, Alkohol, Methan, Fruchtlösungen, Stärke, Farben, Biozide, Essig, Ketchup, Mayonnaise, Bier, Milch, Zuckerlösungen, Gase, Flüssiggase.

Aufgrund der gleichzeitigen Erfassung der Dichte und der Temperatur des Messmediums ist auch eine gleichzeitige Qualitätsbewertung des gemessenen Stoffes möglich. Weicht die Dichte des Messmediums von der Sollgröße ab, lässt dies auf Qualitätsprobleme im Prozess schließen. Auch Luft einschlüsse o. ä. lassen sich aus dem Dichtesignal ablesen.

Im Nahrungs- und Genussmittelbereich überzeugt zunächst die gute Reinigbarkeit der Geräte, selbst bei einem Doppelrohr-Messsystem, wie ABB mit seinem EHEDG-zertifizierten Design des Messwertaufnehmers bewiesen hat. Ferner ist die hochgenaue Massemessung und die Dichtemessung der Stoffe von großem Vorteil. Zusammensetzungen können somit online überprüft werden. Aus der Dichtemessung kann mit einer speziellen Software bei zweiphasigen Messmedien die Konzentration berechnet werden. So ist z. B. die Zuckerkonzentration in einer Flüssigkeit als °BRIX bereits vorgelegt. Aufgrund einer variablen Eingabe von bis zu 3 Dichte-Konzentrationskurven in den Messumformer des CoriolisMaster, kann jede Art von Konzentration gemessen werden.

In der Chemieindustrie überzeugt vor allem die sehr genaue Massemessung, das variable Konzept zum Explosionsschutz (Ex „e“ und „i“ wird nur durch die Kundenbeschaltung definiert) inklusive Isolierungen und nicht zuletzt die zusätzliche Sicherheit durch ein Druckgehäuse um die Messrohre herum. ATEX-Zulassungen bis hin zu Gruppe 1 (Zone 0) sind verfügbar. Die hohe Reproduzierbarkeit (typisch 0,1 % v. M.) ist insbesondere für Regelungs- oder Abfüllprozesse von großem Vorteil.

In der Petrochemie ist zusätzlich die Materialverträglichkeit nach NACE und Robustheit, selbst bei extremen Umweltbedingungen, wichtig. Sei es der Einsatz auf Ölfeldern bei -50 °C oder der Offshore-Einsatz mit hochkorrosivem Salzwasser. Bei letzterem bietet ABB eine spezielle Schutzlackierung für den anspruchsvollen Nordsee-Einsatz an.

In der Papierindustrie sind besonders Streich- oder Farbküchen für den Einsatz von Coriolis-Masse-Durchflussmessern prädestiniert. Kam es bei schwankenden Dichte- oder Viskositätswerten immer wieder zu Problemen, so misst z. B. der CoriolisMaster hier äußerst stabil und hochgenau direkt die Masse. Außerdem entfallen Umrechnungen von Volumen- in Masseinheiten.

Aufgrund der Multivariabilität, Flexibilität, hohen Genauigkeit, Verschleißfreiheit und Robustheit erobert die Coriolis Masse-Durchflussmessung immer mehr Märkte und Einsatzgebiete. Der zunächst hoch erscheinende Beschaffungspreis ist vor dem Hintergrund massiver Einsparungen durch genauere und einfachere Dosierung, oft vernachlässigbar. Im Gegensatz zu herkömmlichen Geräten bleibt dazu die Messgenauigkeit, bei geringem Wartungsaufwand, noch lange bestehen.

Dichte- und Konzentrationsmessung

Die Messrohre in einem Coriolis Masse-Durchflussmesser schwingen in der jeweiligen Resonanzfrequenz, die direkt vom aktuellen Gewicht der Messrohre abhängt. Ändert sich das Gewicht der Messrohre, ändert sich auch die Resonanzfrequenz. Da sich in der Regel die Messrohre selbst nicht ändern, ändert sich das Gewicht des Messmediums im Messrohr. Da das Gewicht der Messrohre, sowie deren inneres Volumen bekannt ist, kann die jeweilige Dichte des Messmediums im Messrohr berechnet werden. Somit liefert die aktuelle Resonanzfrequenz die aktuelle Dichte des Messmediums.

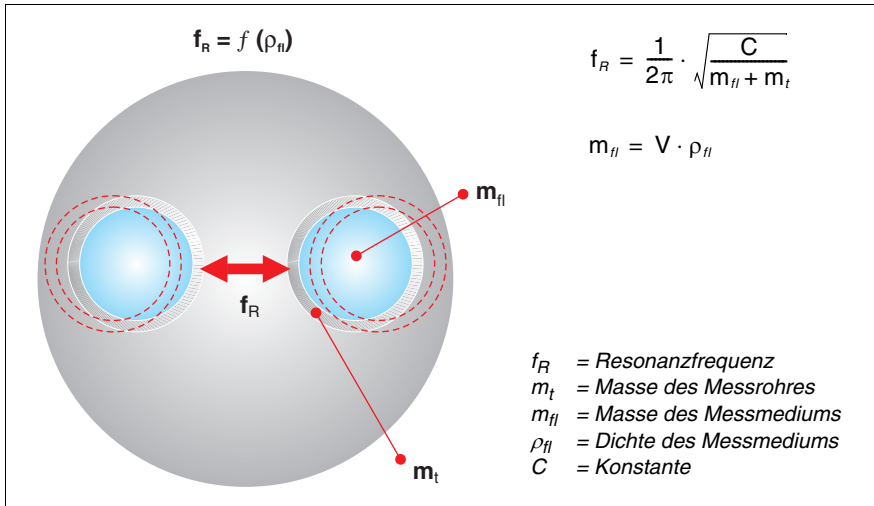


Bild 2-109: Grundlage der Dichtemessung

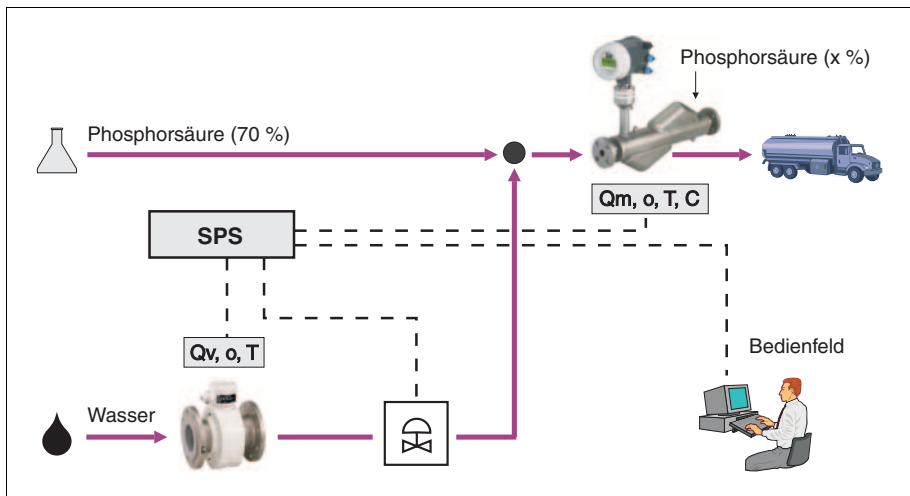
Mit diesem Prinzip eröffnen sich nun eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. Zum einen kann mit dem Gerät neben dem Durchfluss auch die Qualität des Messmediums kontrolliert werden. Der Anwender öffnet ein weiteres Fenster zu seinem Prozess. Sollte im Gegenzug das Messmedium immer konstant sein, liefert die Dichtemessung eine Aussage über die Zuverlässigkeit des Gerätes, denn wenn sich die Rohre durch Ablagerungen oder Abrasion ändern, ändert sich auch sofort das jeweilige Frequenzverhalten.

Die Dichtemessung kann jedoch noch viel mehr: Bei Mischung von 2 Stoffen unterschiedlicher Dichte kann über die Dichte- und Temperaturmessung des resultierenden Messmediums auf die Konzentration der beiden Stoffe geschlossen werden.

Dies kann entweder durch komplexe Polynome realisiert werden oder, wie bei ABB, durch einfache Matrizen in der nachfolgenden Form:

	Temp. Konzentration	Temp1	Temp2	Temp3	...	Temp 10
% 1	K1	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte
% 2	K2	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte
% 3	K3	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte
...	...	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte
% 10	K10	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte	Dichte

Dabei sind meist Matrizen für Standardanwendungen, wie z. B. Alkohol in Wasser oder Zucker in Wasser, voreingestellt.



In der Praxis können so in Mischprozessen oder bei Abfüllungen mit gleichzeitiger Einstellung des Mischungsverhältnisses erheblich Zeit und damit Ressourcen eingespart werden. Die durchschnittliche Abfüllzeit kann, je nach Anwendung, um ca. 60 % reduziert werden.

Häufige Fragen und Antworten

Was muss man bei der Installation beachten?

Die Geräte sind im Vergleich zu anderen Durchflussmessern relativ einfach zu installieren. Sie können sowohl waagrecht als auch senkrecht eingebaut werden. Abstände zu Rohrbiegungen oder Ventilen etc. müssen nicht eingehalten werden, da die Messgeräte unabhängig vom Strömungsprofil sind. Die Geräte sollten jeweils kurz vor bzw. hinter den Flanschen befestigt werden, nicht jedoch an dem Gehäuse selbst.

Wie beeinflusst ein Gas- oder Luftanteil im Messmedium die Messung?

Zunächst wirken Gaseinschlüsse dämpfend auf die Schwingung der Rohre, was jedoch durch einen höheren Erregerstrom ausgeglichen wird. Wenn der Gasanteil nicht zu groß ist und weitgehend homogen verteilt ist, wird die Masse-Durchflussmessung kaum beeinflusst. Die Dichtemessung jedoch kann beeinträchtigt werden. Dies erklärt sich durch das Messverfahren. Die Resonanzfrequenz der Schwingung ist proportional der momentan schwingenden Masse, bestehend aus dem Medium und den Messrohren. Unter der Voraussetzung, dass die Rohre komplett gefüllt sind, kann über die Formel:

$$m = \rho \cdot V$$

die Dichte berechnet werden. Sind die Rohre nicht komplett gefüllt oder enthalten einen Luftanteil kommt es hier entsprechend zu einem Fehler.

Wie beeinflussen Feststoffanteile die Messung?

Solange die Feststoffanteile genau den Rohrschwingungen folgen und somit einen Beitrag zum Durchflusssignal liefern, ergeben sich bei der Messung keine Probleme. Entscheidend ist somit das Verhältnis zwischen Partikelgröße (Trägheit) und den viskosen Kräften (Beschleunigungskräfte). D. h., bei geringer Viskosität sollten die Feststoffpartikel möglichst klein sein. Generell sollte ein selbstentleerender Einbau vorgezogen werden, um eine Ansammlung von Partikeln insbesondere bei Mediumsstillstand in den Rohrbögen zu verhindern.

Wie beeinflusst ein zu geringer Gegendruck die Messung?

Bei zu geringem Gegendruck ist zum einen nicht sichergestellt, dass die Messrohre vollständig gefüllt sind, und zum anderen besteht die Gefahr der Kavitation, wenn der Systemdruck unter den Dampfdruck der gemessenen Flüssigkeit fällt.

Was passiert, wenn die Rohrleitung nicht ganz gefüllt ist?

In diesem Fall können die Messrohre keinen stabilen Schwingungszustand erreichen und eine Messung ist nicht mehr möglich. Erkennbar wird dies zum einen durch ein instabiles, zu geringes Dichtesignal und zum anderen durch einen stark ansteigenden Treiberstrom.

Coriolis Masse-Durchflussmesser CoriolisMaster



Bild 2-110: Doppelrohr-Messsystem
CoriolisMaster MC2



Bild 2-111: Einrohr-Messsystem
CoriolisMaster MS2

Der Messwertaufnehmer des CoriolisMaster MC2 zeichnet sich durch zwei einteilig gebogene, parallel durchströmte Messrohre aus. Eine verwindungs- und biegesteife Tragstruktur, die Ein- und Auslass verbindet, ist besonders geeignet, äußere Kräfte und Momente abzufangen. Die Messrohre sind an den Ein- und Auslassenden in Strömungsteiler eingeschweißt. Somit besteht keine direkte Ankopplung an die Prozessanschlüsse. Durch diese Lösung wird der Einfluss äußerer Schwingungen auf die Messung stark minimiert.

Der Verzicht auf Schweißnähte an den mechanisch am höchsten belasteten Stellen sowie im Vakuum hartgelötete Rohr-, Erreger- und Sensorhalterungen sichern eine lange Lebensdauer. Eine ausgezeichnete Langzeitstabilität wird durch die wärmebehandelten Messrohre erzielt.



Bild 2-112: CoriolisMaster, zertifiziert für die Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Das optimierte Design des Messwertaufnehmers ermöglicht in Kombination mit dem Messrohrwerkstoff 1.4435/316L einen uneingeschränkten Einsatz in hygienischen Applikationen. Die gesamte Konstruktion aus Messrohr, Strömungsteiler und Prozessanschluss ist nach EHEDG geprüft und zertifiziert. Der CIP- bzw. SIP-Prozess kann bei Temperaturen von bis zu 180 °C durchgeführt werden.

Der Messumformer des CorilisMaster in kompakter und getrennter Bauform enthält einen digitalen Signalprozessor (DSP), der es ermöglicht, die Messwerterfassung für den Massestrom und die Dichtemessung mit höchster Präzision durchzuführen. Ausgezeichnete Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit sind das Ergebnis. Selbstdiagnose des Messwertaufnehmers und des Messumformers sowie die absolute Nullpunktstabilität sind weitere Vorteile.

2.2.9 Thermische Masse-Durchflussmesser für Gase

Die meisten gebräuchlichen Durchflussmessgeräte für Gase bestimmen den Betriebs-Volumenstrom. Hierbei muss durch zusätzliche Messungen von Druck und Temperatur der Massenstrom erst errechnet werden. Diese Korrekturmaßnahmen verteuern und erschweren die Messungen; außerdem verringern sie die Systemgenauigkeit des Messsystems. Die thermische Massestrommessung für Gase liefert ohne weitere Messung oder Korrektur direkt den Massestrom in kg/h. Mit der Normdichte des Gases errechnet sich hieraus unmittelbar der Norm-Volumenstrom z. B. in Nm³/h.

Es haben sich zwei industrielle Verfahren der thermischen Masse-Durchflussmessung für Gase durchgesetzt, Heißfilm-Anemometer und kalorimetrische bzw. Kapillarverfahren.

Funktionsweise eines Heißfilm-Anemometers

Das Messverfahren nutzt die durchflussabhängige Wärmeabgabe eines beheizten Körpers an ein Messmedium. Diese strömungsabhängige Abkühlung hängt in den verfahrenstechnisch relevanten Bereichen nicht von Druck und Temperatur, sondern von Art und Anzahl der Teilchen ab, die auf die beheizte Oberfläche treffen. Das Verfahren bildet somit den Massestrom des Messmediums direkt ab.

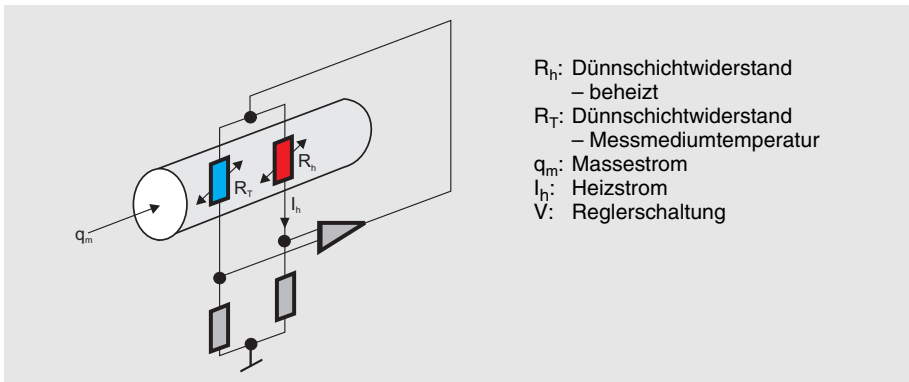


Bild 2-113: Heißfilm-Anemometer Prinzipschaltbild

Die Sensoreinheit besteht aus zwei Messwiderständen, die Teil einer elektrischen Brückenschaltung sind. Ein Messwiderstand nimmt die Temperatur des strömenden Gases an, der andere wird elektrisch beheizt und gleichzeitig durch den Massestrom des Gases gekühlt. Eine Reglerschaltung führt die zugeführte Heizleistung so nach, dass sich eine konstante Temperaturdifferenz zwischen beiden Messwiderständen einstellt. Die Leistung P stellt somit ein Maß für den Massestrom des Gases dar. Mit den geräte- und gasabhängigen Konstanten $K_1, \dots, K_3$ kann dieser Zusammenhang durch die King'sche Gleichung dargestellt werden:

$$P = \Delta T \cdot K_1 + K_2 \cdot (q_m) K_3 \quad (2.36a)$$

Das Verfahren liefert den Messwert direkt in den Einheiten kg/h bzw. Norm-m³/h. Die sonst notwendige Dichtekorrektur des Messwertes entfällt. Durch die kompakte Bauform der Sensoreinheit wird ein minimaler Druckverlust von typisch 1 mbar erreicht. Die Ansprechgeschwindigkeit liegt bei in Dünnschichttechnik aufgebauten Fühlern im Bereich von ms. Vibrationsunempfindlichkeit und eine sehr große Messspanne bei Genauigkeiten von bis zu 1 % vom Messwert zeichnen alle thermischen Masse-Durchflussmesser aus.

Thermische Masse-Durchflussmesser in digitaler Technik

Bei digitalen Geräten wurde das zuvor beschriebene Messprinzip derart weiterentwickelt, dass die Gastemperatur mit ausgegeben werden kann und erheblich erweiterte Diagnosefunktionen zur Verfügung stehen. Der Messbereich konnte aufgrund der verbesserten Signalqualität auf 1:150 erweitert werden. Durch die separate Erfassung der Gastemperatur kann diese zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit von Gaskenngrößen verwendet werden. Mit den Diagnosefunktionen kann eine vorbeugende Instandhaltung durch Auswertung der Betriebszeiten, Temperaturspitzen und Systembelastungen realisiert werden.

Technische Ausführungen

Je nach Einsatzfall wurden unterschiedliche Gerätekonzepte für Pneumatik, Prüfstände, Maschinenbau, hygienische und chemische Verfahrenstechnik entwickelt. Sie unterscheiden sich in erster Linie durch den Aufbau der Sensoreinheiten, je nachdem, ob Schnelligkeit, Flexibilität oder chemische Beständigkeit gefordert werden.

Geräte für die Prozesstechnik

Robuste, universelle Geräteausführungen für Prozessapplikationen stehen mit Sensyflow FMT400-VTS und FMT500-IG zur Verfügung. Alle Ausführungen werden über spezielle Rohrbauteile, die eine definierte, reproduzierbare Einbausituation gewährleisten, an den Prozess angebunden.

- Sensyflow FMT400-VTS ist ein Durchflussmesser in kompakter Bauform, der direkt ein durchflusslineares 0/4...20 mA-Signal liefert.
- Das digitale Sensyflow FMT500-IG ist mit PROFIBUS DPV1 oder Analog/HART-Kommunikation erhältlich. Es kann mit bis zu 4 Kennlinien für unterschiedliche Gase oder Rohrdurchmesser geliefert werden.

Im hygienischen Bereich können Geräte der Sensyflow FMT400-VTCS Serie eingesetzt werden. Spezielle Materialien und ein angepasstes Sensordesign machen die Geräte CIP- und SIP-fähig.

Typische Anwendungen

- Gasmengenmessungen in Chemie und Verfahrenstechnik
- Druckluftbilanzierung
- Gasbrennersteuerungen
- Faulgas- und Belebungsluftmessungen in Kläranlagen
- Gasmessungen an Luftzerlegungsanlagen
- Wasserstoffmessungen im Prozess
- Carbonisierung in Brauereien und Softdrink-Produktionsanlagen



Bild 2-114: Typen für unterschiedliche Branchen

Technische Daten der Sensyflow FMT400-VTS-, FMT500-IG-Reihe	
Durchmesser	ab DN 25, auch nicht-runde Querschnitte
Messspanne	bis 1:150
Betriebstemperatur Messmedium	-25...300 °C
Druckbereich	0,5...40 bar absolut
Messunsicherheit	≤ 1 % vom Messwert
Typischer Druckverlust	1 mbar
Ansprechzeit	0,5 s
Ausgangssignal	0/4...20 mA; Impuls; Frequenz; Binär
Kommunikation	HART, PROFIBUS DPV1
Energieversorgung	230; 110; 24 V AC; 24 V DC
Werkstoffe	CrNi-Stahl; Hastelloy; Keramik
Explosionsschutz	Zone 0

Geräte für Durchfluss-Prüfstände

Bei Prüfstandsapplikationen, z. B. Ansaugluftmessungen an Verbrennungsmotoren, wird neben hoher Genauigkeit über einen weiten Messbereich, vor allem eine schnelle Ansprechgeschwindigkeit gefordert. Nur so lassen sich dynamische Vorgänge mit ausreichender Auflösung darstellen. Sensyflow FMT700-P ist auf diese speziellen Anforderungen ausgelegt.



Bild 2-115: Thermischer Masse-Durchflussmesser für Prüfstände – Sensyflow FMT700-P

Technische Daten Sensyflow FMT700-P	
Durchmesser	DN 25...DN 200
Messspanne	1:40
Betriebstemperatur Messmedium	-25...80 °C
Druckbereich	2,5 bar absolut
Messunsicherheit	≤ 1% vom Messwert
Typischer Druckverlust	10 mbar
Ansprechzeit	T ₆₃ ~ 12 ms
Ausgangssignal	0/4...20 mA; 0...10 V; RS 232, ASAM-GDI
Energieversorgung	230/115 V AC

Geräte für die Druckluftregelung

An Lackierrobotern muss das Verhältnis von Lack und Zerstäuberluft zur Farbauftragsregelung mit hoher Ansprechgeschwindigkeit gemessen werden. Das hierfür konzipierte Sensyflow FMT200-ECO2 stellt eine kompakte Einheit mit kompletter Elektronik dar. Es ist weiter für allgemeine Druckluftanwendungen bei hochdynamischen Gas-Dosieranlagen und zur Qualitätssicherung bis DN 25 durch sein universelles Anschlusskonzept geeignet.



Bild 2-116: Thermischer Masse-Durchflussmesser für Druckluft – Sensyflow FMT200-ECO2

Technische Daten Sensyflow FMT200-ECO2	
Durchmesser	bis DN 25
Anschlüsse	Kleinflansch, G 3/8" ...1", Legris, Transair
Messspanne	1:100
Betriebstemperatur Messmedium	0...50 °C
Druckbereich	10 (16) bar absolut
Messunsicherheit	≤ 3 % vom Messwert
Typischer Druckverlust	10 mbar
Ansprechzeit	T ₆₃ ~ 25 ms
Ausgangssignal	0/4...20 mA; 0...5/10 V; Impuls, digital, Frequenz, RS 232
Energieversorgung	24 V DC

Aufheizverfahren

Bei sehr kleinen Rohrdurchmessern bzw. kleinsten Mengen, wie sie vor allem im Bereich der Gasanalysen und Labortechnik vorkommen, kann das Aufheizverfahren angewendet werden. Das Gas durchströmt dabei eine Kapillare, die mit einer konstanten Leistung P beheizt wird.

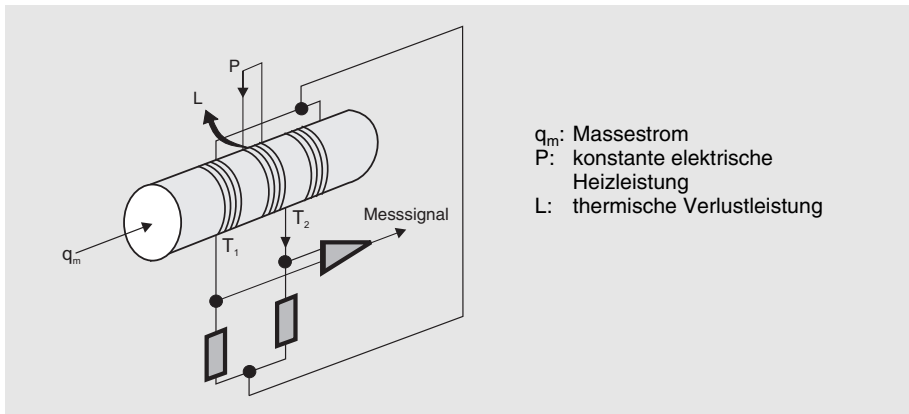


Bild 2-117: Aufheizverfahren, Prinzipschaltbild

$$q_m = \frac{(P - L) \cdot C}{c_p \cdot (T_2 - T_1)}$$

Der Massestrom kann aus der resultierenden Temperaturdifferenz, dem Wärmeverlust der Anordnung und einer Gerätekonstante C berechnet werden.

Technische Daten	
Durchmesser	bis DN 25
Messspanne	1...50
Maximale Betriebstemperatur Messmedium	70 °C
Maximaler zulässiger Druck	100 bar
Messwertabweichung	< 1 % vom Messwert
Ansprechzeit	1...5 s
Ausgangssignal	0/4...20; 0...10 V; digital
Energieversorgung	24 V DC
Werkstoffe	Aluminium, CrNi-Stahl, Kunststoff

2.3 Durchfluss in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen

2.3.1 Durchflussmessung in offenen Gerinnen

Offene Gerinne gibt es besonders in der Wasser- und Abwassertechnik. Sie zeichnen sich durch ihre Außenluftbindung aus. Gleiches gilt auch für die Freispiegelleitungen, die zusätzlich in der Verfahrensideustrie zu finden sind.

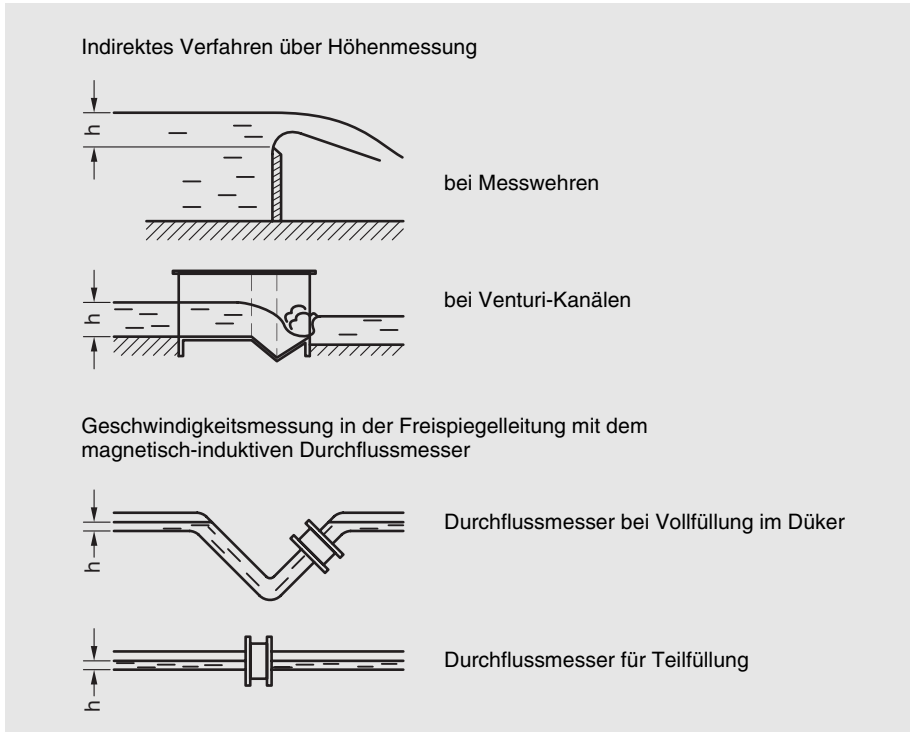


Bild 2-118: Messverfahren

Messverfahren

Messwehre

Bei großen Wassermengen und kleinen Gefällen sind Messüberfälle geeignete Messmittel, wenn das Wasser angestaut werden kann und der Wasserstrahl vollständig belüftet ist. Belüftung bedeutet, dass Luft unter den Überfallstrahl gelangen kann, damit sich dieser ablöst und frei fällt. Messwehre sind dünnwandige Platten mit scharfer Messkante, die senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet sind. Je nach Aufgabenstellung weisen sie unterschiedlich gestaltete Ausschnitte auf. Für kleinere Durchflüsse wählt man das Dreieckwehr.

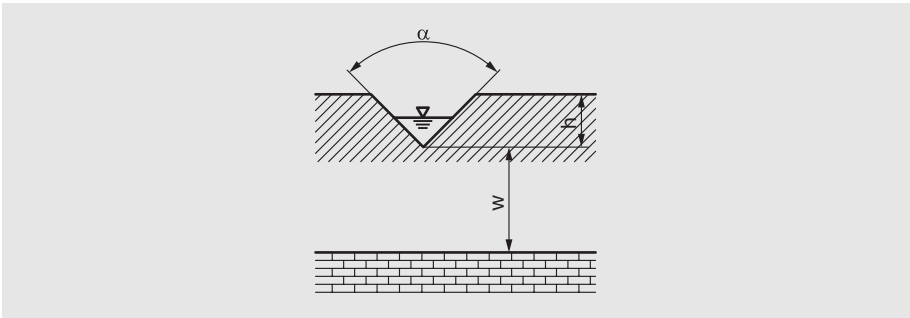


Bild 2-119: Dreieckwehr nach Thomson

Ausgehend von der Gleichung (1.27) errechnet sich für das Dreieckwehr:

$$q_v = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{g \cdot h} \cdot h^{5/2} \quad (2.37)$$

Der Überfallkoeffizient μ ist abhängig von der Überfallhöhe h im Verhältnis zur Wehrhöhe w . Der Wert lässt sich mit Hilfe eines aufwendigen Rechenverfahrens bestimmen. Das Diagramm Bild 2-120 bietet die μ -Werte in Kurvenform.

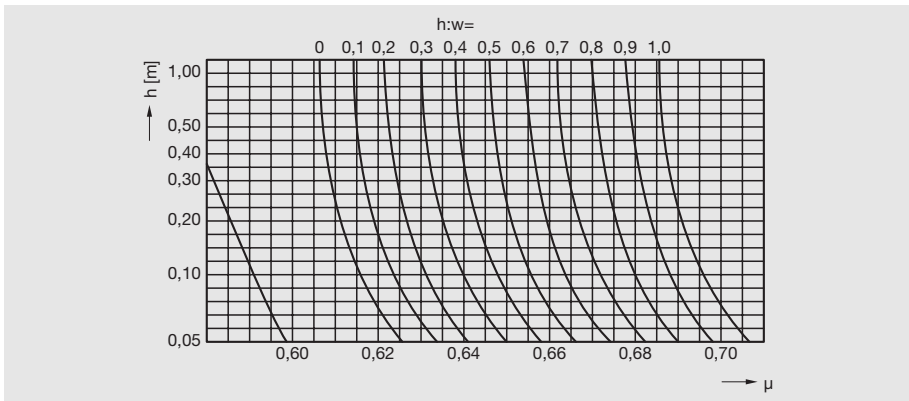


Bild 2-120: Überfallkoeffizient μ nach Rehbock und Thomson für Dreieckwehre

Dreieckwehre sind geeignet für Durchflüsse zwischen 2 und 100 l/s. Durch Parallelschaltung einer Vielzahl von Dreiecken lässt sich eine günstige geometrische Gestaltung bei höherem Durchfluss erzielen.

Die Messspanne beträgt bei guten Randbedingungen 1:100.

Für sehr große Durchflüsse verwendet man Rechteckwehre mit dem Nachteil einer eingeschränkten Messgenauigkeit im unteren Teil des Messbereiches.

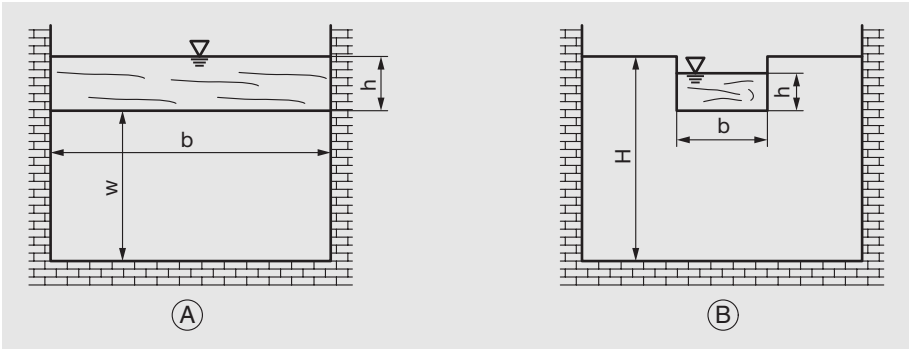


Bild 2-121: Rechteckwehr ohne Seitenkontraktion (A) und mit Seitenkontraktion (B)

Berechnungsgrundlage ist Gleichung (1.27). Für Rechteckwehre ohne seitliche Einschnürung (Bild 2-121a) gilt:

$$q_v = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad (2.38)$$

mit dem Überfallkoeffizienten μ und $h_e = h + 0,0011$ (m):

$$\mu = 0,602 + 0,083 \cdot \frac{h}{w}$$

für:

$$w \geq 0,3 \text{ m}; \quad \frac{h}{w} \leq 1; \quad 0,025 \leq h \leq 0,8 \text{ m}$$

Wegen der seitlichen Eingrenzung des Überfallstrahls beim Rechteckwehr ohne Seitenkontraktion kann die Luftzufuhr behindert werden. Deshalb muss die Belüftung sichergestellt sein.

Bei seitlicher Einschnürung wird die Ursprungsgleichung herangezogen:

$$q_v = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

bei einem Koeffizienten: $\mu = 0,6161 - \left(0,1 \cdot \frac{h}{b}\right)$

für: $0,075 \leq h \leq 0,6 \text{ m}; \quad b \leq 2 \cdot h_{\max} \leq 0,3 \text{ m}$

Die Messspanne des Rechteckwehrs liegt bei 1:20. Die Höhenstandsmessung für die Höhe h liegt bei dem genannten Wehrtypen ca. $4 \times h$ vor dem Wehr. Die Wassergeschwindigkeit sollte vor dem Wehr nicht größer sein als 6 cm/s . Und natürlich muss das Wasserniveau hinter der Wehrplatte einen Überfall zulassen; deshalb sollten mindestens 5 cm Abstand zwischen Öffnungsunterkante und Wasserniveau eingehalten werden.

Venturi-Kanal-Durchflussmesser

Zur Durchflussmessung mit Messwehren muss das Wasser angestaut werden, was unter Umständen im Zulaufbereich Veränderungen verursacht. Diese Bedingung wird beim Venturi-Kanal nicht gestellt.

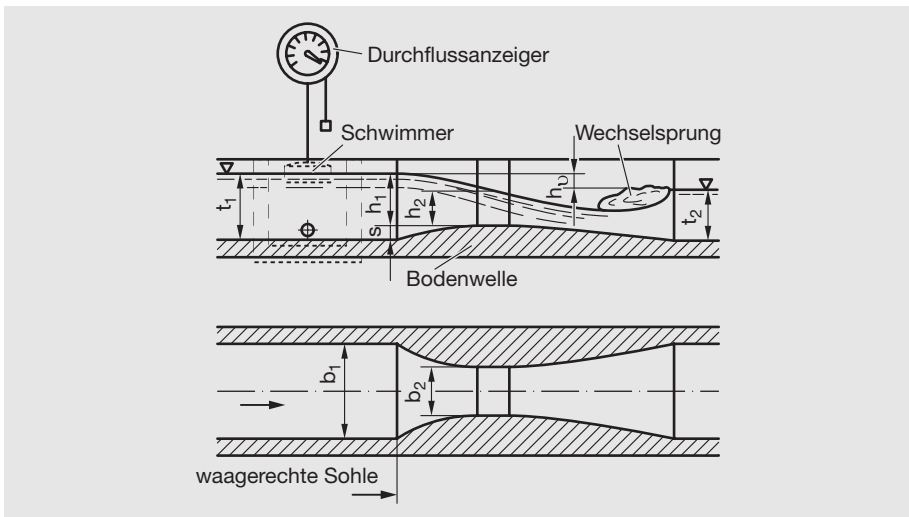


Bild 2-122: Venturi-Kanal

Er kann deshalb schon bei kleinsten Durchflüssen reagieren. Wie bei der Venturi-Düse bewirkt eine Einschnürung des Abflussquerschnitts eine Wandlung der Energieformen, die zur Beschleunigung im Bereich der Einschnürung führt. Die Einschnürungen sind in der Regel seitlich; es gibt sie aber auch als Bodenschwelle.

Die Berechnung des rechteckigen Venturi-Kanals geschieht wieder mit der Gleichung (1.27) nämlich:

$$q_v = \frac{2}{3} \mu \cdot b_2 \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

Der Wasserspiegel vor dem Kanaleinlauf (Oberwasser) ist beruhigt, das Wasser befindet sich im Zustand des Strömens. Dieser stellt sich automatisch ein: Wasser wird angestaut, die mittlere Fließgeschwindigkeit v sinkt, die Flüssigkeit geht in den strömenden Zustand über.

Die Beschleunigung in der Einschnürung muss das Wasser zum Schießen bringen, damit Strömungsstörungen aus dem Unterwasserbereich keinen Einfluss auf den Wasserspiegel vor der Engstelle ausüben können. Nur durch diese Maßnahme kann eine eindeutige Abhängigkeit zwischen Oberwasserhöhe und Durchfluss gesichert werden. Danach, nämlich im Bereich der Kanalerweiterung, wird wieder der Zustand des Strömens erreicht, gekennzeichnet durch den Wechselsprung mit Deckwalze. Ein Rückstrom muss vermieden werden, denn er beeinträchtigt die Funktion der Messeinrichtung.

Messwertaufnehmer für Gerinne-Durchflussmesser

Nachdem durch Messwehre oder Venturi-Kanäle Einrichtungen geschaffen wurden, die eindeutige physikalische Zusammenhänge für erfassbare Größen liefern, fehlen noch die Organe, die das Flüssigkeitsniveau erfassen und in durchflussproportionale Werte umwandeln. Die Oberwassertiefe h kann direkt oder indirekt gemessen werden.

- Direktes Messverfahren
 - Schwimmermessung
- Indirekte Messverfahren
 - hydrostatische Druckmessung,
 - berührungslose Wasserstandsmessung mit Echolot,
 - hydrostatische Druckmessung mittels Einperlmethode.

Schwimmermessung

Der Wasserspiegel wird mit einem Schwimmerkörper abgetastet, dessen Stellung mechanisch übertragen, auf einer nichtlinearen Skala angezeigt oder elektrisch linearisiert in ein Einheitssignal umgewandelt wird. Verschmutzung, Bewuchs, mechanischer Verschleiß und Frost belasten den Schwimmer und die Übertragungsorgane, sie beeinflussen das Strömungsprofil und sind daher für Fehler verantwortlich. Eventuell muss der Schwimmer in einer eigenen Schwimmerkammer untergebracht werden. Dazu kommt ein erhöhter Wartungsaufwand.

Das sind Gründe dafür, dass die Schwimmermessung an dieser Stelle nur selten eingesetzt wird.

Hydrostatische Druckmessung

Der hydrostatische Druck ist die von einer Flüssigkeitssäule auf einen Bezugspunkt ausgeübte Kraft. Der gemessene Druck ist der Höhe proportional:

$$p = h \cdot \rho \cdot g + p_0 \quad (2.40)$$

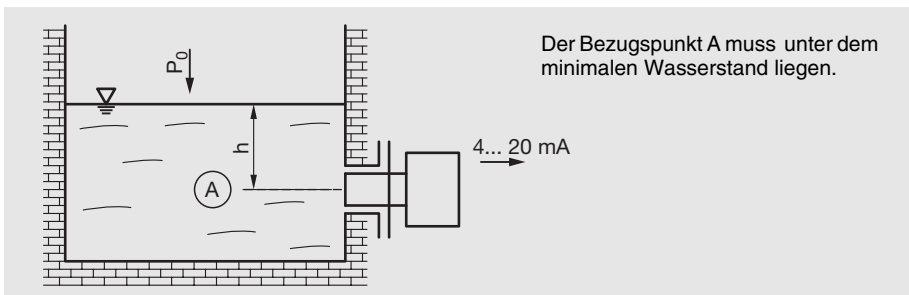


Bild 2-123: Hydrostatische Druckmessung

Beim Venturi-Kanal könnte man die Messstelle in die Kanalsohle integrieren. Bild 2-123 zeigt den seitlichen Anbau eines speziell für dieses Messverfahren konstruierten elektrischen Messumformers.

Der Messumformer (Bild 2-124) besitzt einen Tubus mit einer Membrane, die mit der Kanalwand bündig abschließt. Über eine Ölhydraulik wirkt der Membrandruck auf eine kapazitiv arbeitende Messzelle, mit deren Hilfe das Ausgangssignal 0/4...20 mA erzeugt wird.



Bild 2-124: Druck-Messumformer Typ 266MDT für Füllstand

Die Messzelle arbeitet als Differenzdruckmesser in der Weise, dass die Minus-Seite dem Atmosphärendruck p_o ausgesetzt ist. Somit wirkt dieser Vordruck p_o auf beiden Seiten der Messzelle und eliminiert sich damit selbsttätig. Die Nullpunkteinstellung kann bei seitlichem Anbau des Messumformers den Messbereichsanfang auf die Kanalsohle beziehen. Selbstverständlich kann dieses Gerät über Schnittstelle oder Feldbusankopplung mit modernen Leitsystemen kommunizieren. Die Messbereiche liegen zwischen 1 und 10000 kPa

Die an der Kanalinnenwand abschließende Membran ist unempfindlich gegen Ablagerungen und Verschmutzungen.

Einperlmethode

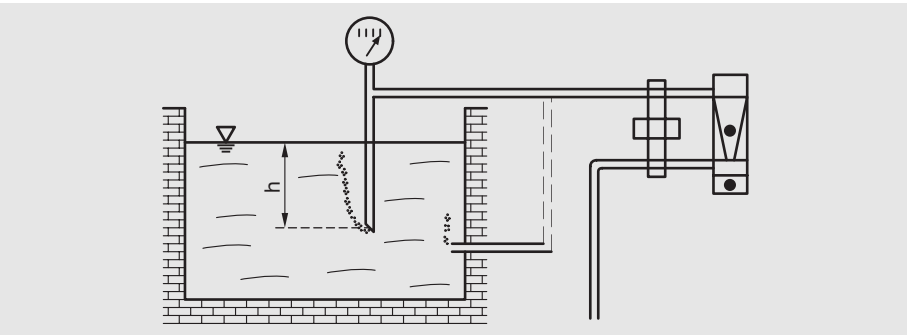


Bild 2-125: Einperlmethode

Durch ein Tauchrohr oder ein seitlich bzw. von unten eingeführtes Rohr wird Luft oder ein Schutzgas in das Gerinne hineingedrückt; die Luft steigt perlend nach oben, daher die Bezeichnung Einkerlmethode.

Zur Dosierung des Gases verwendet man einen Kleindurchflussmesser Type 10A6100 mit Nadelventil und Differenzdruckregler. Hinter dem als Drossel wirkenden Regler stellt sich im Rohr ein Druck ein, der gleich dem hydrostatischen Druck am Rohrende ist. Das Nadelventil dient der Einstellung des Perlgas-Durchflusses; der Regler sorgt für konstanten Durchfluss. Ein Druck-Messumformer verarbeitet füllstandsproportionalen Druck.

Die Einkerlmethode hat den Vorteil, dass empfindliche Messorgane mit der Flüssigkeit nicht in Berührung kommen und daher weder chemisch noch mechanisch angegriffen werden können. Außerdem ist der Schutzaufwand für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen sehr gering.

Echolotmethode

Die erfolgreichste Methode der berührungslosen Wasserstandsmessung ist das Echolot. Hierbei wird von einem über dem Wasserspiegel angeordneten Schallsender ein Ultraschallsignal ausgesandt, das nach Reflexion an der Wasseroberfläche wieder empfangen wird. Aus der Laufzeit ergibt sich der Abstand zwischen Sender/Empfänger und Wasseroberfläche und damit die gesuchte Oberwassertiefe. Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Beschaffenheit der durchschallten Laufstrecke, in der sich beispielsweise Temperatur und Feuchtigkeit ändern. Mit Hilfe einer Referenzstrecke, die mechanisch genau definiert ist, lassen sich derartige Störeinflüsse kompensieren.

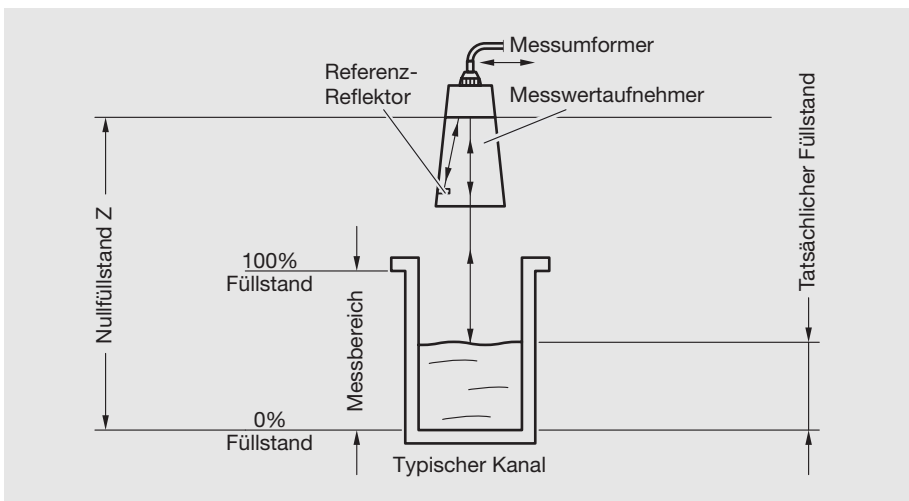


Bild 2-126: Echolotverfahren

Zur Abschirmung gegen äußere Einflüsse, z. B. Schneefall, und zum Schutz gegen unerwünschte Wandreflexionen dient ein Trichter am Messwertaufnehmer.

Der nachgeschaltete Messumformer beinhaltet einen Rechner, der die unterschiedlichen Kurvenformen verschiedener Gerinnemesser einrechnet und dann ein durchflussproportionales Ausgangssignal 0/4...20 mA liefert. Natürlich haben derartige Messumformer Selbstüberwachungsfunktionen, Grenzkontakte und Volumenzähler.

2.3.2 Durchflussmessung in Freispiegelleitungen

Es gibt Systeme geschlossener Rohrleitungen, die nicht ständig mit Flüssigkeit voll- sondern teilgefüllt sind, die aber so dimensioniert sein müssen, dass sie sporadisch große Mengen aufnehmen können. Das markanteste Beispiel ist die Abwasserleitung, in der nachts wenig, am Tage mehr, bei einem Gewitter aber extrem viel Wasser fließt. Gefordert wird ein Durchflussmessgerät, das bei allen Betriebszuständen genaue Messwerte liefert.

Das mit Feststoffen beladene Abwasser gestattet keine Einbauten im Rohr. Deshalb ist das ideale Messgerät der magnetisch-induktive Durchflussmesser. Mit einem kleinen Schönheitsfehler: Die eigentliche Messgröße ist die Fließgeschwindigkeit v . Erst durch die Multiplikation mit der konstanten Größe – gefüllter Rohrquerschnitt A – ergibt sich der gesuchte Durchfluss $q_v = v \cdot A$. Da A , wie oben beschrieben, sich ständig ändert, gibt es zwei Möglichkeiten für die Messung: Entweder wird die Rohrleitung so ausgebildet, dass an der Messstelle eine Vollfüllung sichergestellt ist, oder es wird der speziell für diesen Einsatz konstruierte magnetisch-induktive Durchflussmesser FXP4000 verwendet.

Magnetisch-induktive Durchflussmesser im Düker

Mit Hilfe eines Dükers (Bild 2-127) wird die Vollfüllung der Rohrleitung garantiert und damit eine eindeutige Messung. Ein Argument gegen die Dükerung ist die Furcht vor Ablagerungen, gerade bei Abwasser.

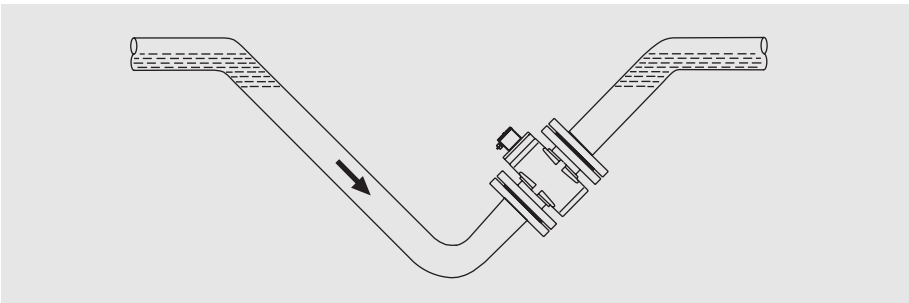


Bild 2-127: Magnetisch-induktiver Durchflussmesser im Düker

Daher wird die Schleppkraft des Wassers, die natürlich mit der Größe des Durchflusses wächst, häufig unterschätzt. Eventuelle Ablagerungen werden also bei Volllastbetrieb aus dem Düker herausgespült, den man auch dadurch provozieren kann, dass das Wasser kurzzeitig vor dem Düker aufgestaut wird. Eine andere Möglichkeit ist eine eigene zusätzliche Spülwasserleitung.

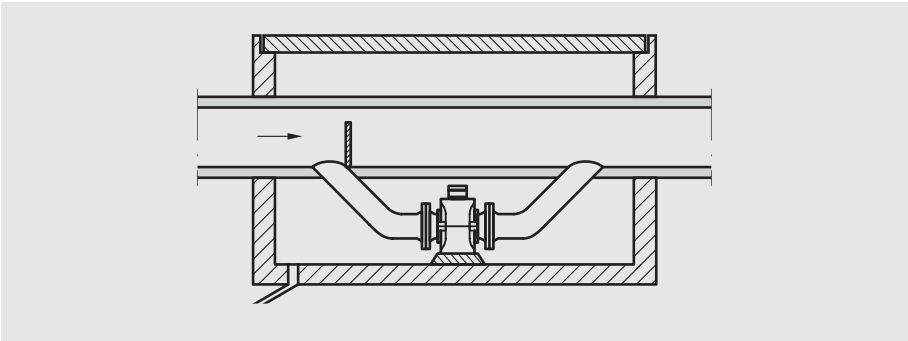


Bild 2-128: Düker mit Hochwasserleitung

Höhere Fließgeschwindigkeiten im Düker verhindern Ablagerungen. Die Rohrleitung bekommt also einen so kleinen Querschnitt, dass sie bei Hochwasser – etwa durch Gewitter – unterdimensioniert ist.

Eine Lösung dieses Problems ist die große Rohrleitung (Bild 2-121) mit einem Wehr und dem Düker mit dem Nachteil, dass während des Hochwassers nicht der gesamte Durchfluss erfasst wird. Gegenüber dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser FXP4000 für teilgefüllte Rohrleitungen hat das System der Dükerung den Vorteil, dass es das genauere Messgerät verwendet. Der Kostenvorteil durch das kleinere Gerät wird meistens durch die teuren Baumaßnahmen angeglichen.

Magnetisch-induktiver Durchflussmesser FXP4000 (PARTI-MAG II) für teilgefüllte Rohrleitungen

Von den unter Kapitel 2.2.6 beschriebenen magnetisch-induktiven Durchflussmessern ist bekannt, dass er ein der Fließgeschwindigkeit v proportionales Signal erzeugt und dass sich der Durchfluss q_v aus dem Produkt mit dem Querschnitt A als unveränderliche Größe ergibt. Das Gerät benötigt also in der Messzone einen flüssigkeitsgefüllten Querschnitt. In der Freispiegelleitung ist diese Voraussetzung nicht gegeben. Deshalb kann ein magnetisch-induktiver Durchflussmesser an dieser Stelle nur dann richtig messen, wenn der Füllgrad in die Messwertbildung eingeht. Und das ist der konstruktive Grundgedanke des FXP4000.

Für die Berechnung von zwei unbekannten Größen benötigt man nach den Gesetzen der Algebra zwei voneinander unabhängige Aussagen oder hier zwei Messwerte.

Diese werden messtechnisch wie folgt ermittelt:

Der zu messende Volumenstrom durchfließt ein isolierend ausgekleidetes Rohr. Mit Hilfe der an der Rohrsohle und am Rohrscheitel außen angebrachten Spulen wird im Rohrquerschnitt ein Magnetfeld erzeugt.

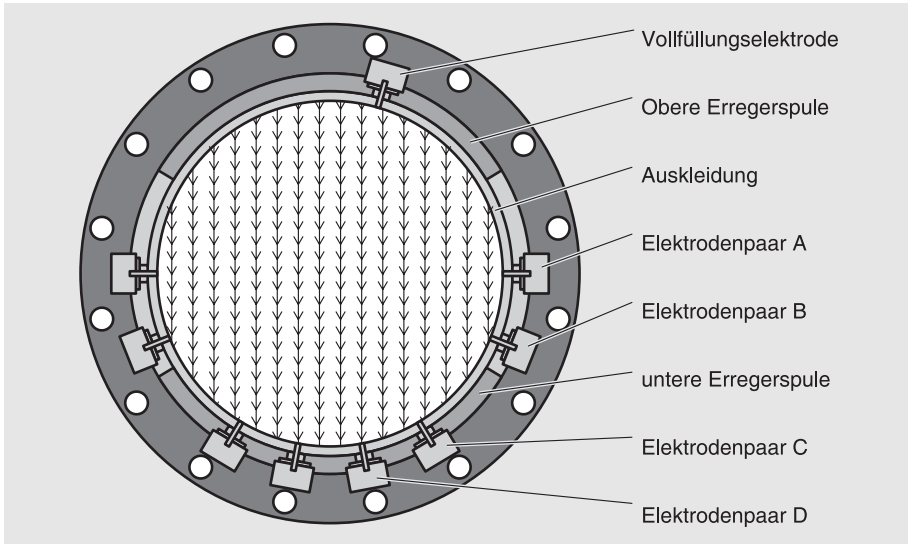


Bild 2-129: Aufbau des Messwertaufnehmers

Wie im Bild 2-129 gezeigt, besitzt der Messwertaufnehmer des FXP4000 vier Elektrodenpaare, die in unterschiedlichen „Höhen“ angebracht sind. Zur Detektion der in der Flüssigkeit induzierten Spannung wird, je nach Füllhöhe, das optimal platzierte Elektrodenpaar A, B oder C herangezogen. Somit können Durchflüsse bis zu einer Füllhöhe von 10 % der Höhe bei Vollfüllung erfasst werden. Dieses entspricht einer Fläche von 5 % des Gesamtquerschnittes.

Im Messrohr sind quer zur Fließrichtung und auch quer zu den Feldlinien Messelektroden angeordnet. Mit Hilfe dieser Elektroden wird die in der Flüssigkeit induzierte Spannung detektiert. Bei voll gefüllter Rohrleitung ist diese Spannung, wie beim herkömmlichen magnetisch-induktiven Durchflussmesser, ein „direktes Maß“ für die mittlere Fließgeschwindigkeit.

Bei teilgefüllter Rohrleitung hingegen ist die Spannung, die an den Elektroden detektiert wird, mit einem Faktor zu korrigieren. Er wird aus einer im Messumformer hinterlegten Kurve ermittelt.

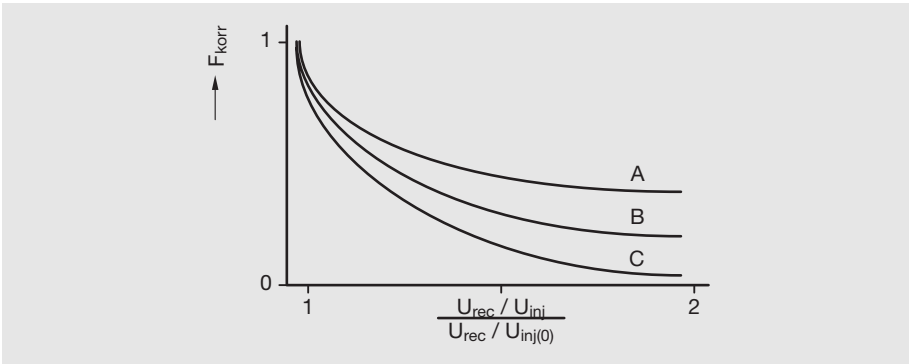


Bild 2-130: Korrekturkurve für detektierte fließgeschwindigkeitsproportionale Spannung an Elektrodenpaar A, B, C

Diese Korrekturkurve kann, wie in Bild 2-130 skizziert, in Abhängigkeit des Verhältnisses zweier Spannungen $U_{\text{rec}} / U_{\text{inj}}$ dargestellt werden.

Mit dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser FXP4000 wurde ein Gerät konstruiert, das die Vorteile der vorher beschriebenen Systeme vereint und die Nachteile bei Teilfüllung verhindert. Es verursacht keine zusätzlichen Druckverluste, vermeidet kostspielige Bauwerke und erfasst kleinste Durchflüsse bei niedrigem Niveau und kleiner Fließgeschwindigkeit oder große Durchflüsse bei Vollfüllung und hoher Geschwindigkeit.



Bild 2-131: Messwertaufnehmer und Messumformer des FXP4000

Dimensionierung
Die Nennweite des Messwertaufnehmers wird mit Hilfe des nebenstehenden Nomogramms ermittelt, und zwar ausgehend von dem Maximaldurchfluss bei vollgefülltem Messrohr unter Einbeziehung der aktuellen Fließgeschwindigkeit.

169

Ein Sonderfall ist die Dimensionierung von Wasser-, Abwasserleitungen in einer Gefällestrecke. Hier wird die Fließgeschwindigkeit durch die Rohrreibung und das Gefälle bestimmt. Deshalb kann die Geschwindigkeit mit Hilfe des Widerstandsbeiwertes berechnet werden. Nach Nikuradse gilt für das Rohr mit rauher Wand bei turbulenter Strömung:

$$v = \sqrt{\frac{h_v}{l}} \cdot \frac{2g \cdot d}{\lambda} \quad (2.42)$$

mit dem Rohrdurchmesser d in mm und der Rauheit k in mm. Für Stahl- bzw. Guss-eisenrohre setzt man bei dieser Überschlagsrechnung für k den Wert 1 mm an. Zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit wird die Darcy-Weisbach-Gleichung zugrunde gelegt und umgewandelt zu:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d}{k} + 1,14\right)^2} \quad (2.41)$$

mit dem Quotienten h_v/l für das Gefälle. Der für das volle Rohr bestimmte Wert v ermöglicht mit dem Nomogramm (Bild 2-118) die Kontrolle des Durchflusses. Wie bereits erwähnt ist die Messgenauigkeit davon abhängig, dass die Strömung gleichförmig verläuft, und zwar besonders bei Teilfüllung.

Diese Bedingung kann in einer langen Leitung mit gleich bleibender Rauheit nur dann erfüllt werden, wenn Abflussstörer wie Profiländerungen der Leitung, Vorsprünge oder Anschlüsse in der Rohrwandung, Ablagerungen und andere Wellen und Wirbel erzeugende Einflüsse ausreichende Abstände von der Messstelle haben. Im Idealfall spricht man vom Normalabfluss. Diese Tatsache ist der Grund für die Empfehlung von $5 \times D$ für die Einlaufstrecke und $2 \times D$ für die Auslaufstrecke.

Elektrodenwerkstoffe

Auskleidungswerkstoff	Elektrodenwerkstoff
Hartgummi, Weichgummi	CrNi-Stahl 1.4571 Hastelloy C oder B
PTFE, PFA	Hastelloy C Hastelloy B, Ti, Ta, Pt-Ir

Nennweiten und Nenndrücke

Auskleidungswerkstoff	DN	PN
Hartgummi	150...1400	6...40
Weichgummi	150...1400	6...40
PTFE	150...600	10...40

Technische Daten	
Prozessanschluss	Flansche
Explosionsschutz	Zone 1
Messbereichsendwert	0,5...10 m/s
Maximale Messwertabweichung	bei Vollfüllung: 1 % vom Messwert bei Teilfüllung: 3 bzw. 5 % vom Messwert
Ausgang	0/4...20 mA 0/2...10 mA
Impulsausgang	Aktiv 24 V DC Passiv (Optokoppler) 5...25 V, 5...200 mA
Schnittstelle	RS 485
Energieversorgung	24 V, 115 V, 230 V, 50/60 Hz

3 Vorschriften und Forderungen zu Qualität, Umwelt, Sicherheit und Datenschutz

3.1 Integriertes Managementsystem

Um ein Unternehmen finanziell lebensfähig zu gestalten, muss es sich marktgerecht verhalten. Deshalb ist es das oberste Ziel, die Erwartungen des Kunden zu erfüllen. Von den Produkten erwartet man optimale Funktionalität und lange Lebensdauer bei günstigen Preisen und kurzer Lieferzeit. Die Produkthaftung verpflichtet zu einer Fertigung unter Beachtung der Sicherheitsanforderungen und der Einhaltung der geltenden Normen, Vorschriften und den anerkannten Regeln der Technik.

In jedem Unternehmen gab und gibt es Organisationsformen und Ablaufsysteme, mit deren Hilfe die genannten Aufgaben gelöst werden. Mit der nach 1983 erarbeiteten Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff. zur Darlegung von Qualitätsmanagementsystemen wurde eine Basis geschaffen, die eine Internationale Vergleichbarkeit ermöglicht und die eine ständige Überprüfung durch unabhängige Institute verlangt.

ABB bekennt sich darüber hinaus zu aktivem Qualitäts- und Umweltbewusstsein, zum Arbeits- und Gesundheitsschutz der Mitarbeiter und zur Beachtung der Vorschriften beim Umgang mit personenbezogenen Daten und zu einer offenen Informationspolitik. Die Managementsysteme für Qualität, Umwelt-, Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie für Daten- und Informationsschutz wurden in ein einheitliches System, dem Integrierten Managementsystem, zusammengefasst. Dieses berücksichtigt sämtliche Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001, ein Umweltmanagementsystem nach ISO 14001, ein Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagementsystem nach BS OHSAS 18001 sowie die einschlägigen nationalen Gesetze zum Daten- und Informationsschutz.

ZERTIFIKAT

ISO 9001:2008
ISO 14001:2004



bescheinigt hiermit, dass das Unternehmen

ABB

ABB Automation Products GmbH
Wallstader Straße 59 • 68526 Ladenburg
(weiterer Standorte siehe Anhang)

Geltungsbereiche:

Entwicklung, Projektierung, Planung, Fertigung, Service und Vertrieb
von Produkten und Dienstleistungen der Instrumentierung, Motoren & Antriebe
und Niederspannungsschaltanlagen-systeme

ein Qualitätsmanagementsystem und Umweltmanagementsystem entsprechend der oben genannten
Normen eingeführt hat und dieses wirksam anwendet. Der Nachweis wurde im Rahmen des Zertifizierungs-
Audits Bericht-Nr. ABB111923 erbracht. Dieses Zertifikat ist nur in Verbindung mit der
entsprechenden Durchführung der Überwachungsaktivität gültig.

Dieses Zertifikat
ist gültig ab:

09.10.2009

Dieses Zertifikat
ist gültig bis:

05.10.2012

Letzter
Audit tag:

04.09.2009

Datum der
Erneuzertifizierung:

06.10.2009

Zertifikat-
Registrier-Nr.:

UM 1710051922

Duplikat



DEKRA Certification GmbH
Singen, 05.10.2009



QMS-TGA-ZM-05-01-00
UMS-TGA-ZM-05-01-00

DEKRA Certification GmbH • Rosenheckstraße 19 • 70704 Singen • www.dekra-certification.com

Anhang zum Zertifikat Nr. 50903101172 und 1710051922
vom 09.10.2009 gültig bis 05.10.2012

Die folgenden Standorte fallen unter das o.g. Zertifikat:

Wiederlassungen/ Vertriebsfilialen	Straße	PLZ	Ort
1. Zentrale	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
2. Ladenburg	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
3. Alzenau	Borsigstraße 2	D-63755	Alzenau
4. Mivlen	Schillerstraße 22	D-32401	Mivlen
5. Göttingen	Dransfelder Straße 2	D-37079	Göttingen
6. Ransingen	Oberhäuser Straße 33	D-40472	Ransingen
7. Cölnbus	Gaglower Straße 17/18	D-50346	Cölnbus

Liste erstellt am 09.10.2009



DEKRA Certification GmbH • Rosenheckstraße 19 • 70704 Singen • www.dekra-certification.com

Seite 1 of 1

CERTIFICATE

ISO 9001:2008
ISO 14001:2004



herby certifies that the company

ABB

ABB Automation Products GmbH
Wallstader Straße 59 • 68526 Ladenburg
(further locations see annex)

business field:

Development, project engineering, planning, manufacturing,
service and sales of products and services of the instrumentation,
motors & drives and low-voltage switchgear systems.

has successfully implemented the above mentioned quality management system and environmental
management system according to the standards and applies it effectively. The conformity was inspected
during the certification audit documented in audit report no. ABB111073. This certificate is only valid in
connection with the successful performance of the surveillance audits.

This certificate is
valid from:

09.10.2009

This certificate is
valid until:

05.10.2012

Last
audit day:

04.09.2009

Date of the first
certification:

06.10.2009

Certificate
registration no.:

UM 1710051922

Duplicate



DEKRA Certification GmbH
Singen, 05.10.2009



QMS-TGA-ZM-05-01-00
UMS-TGA-ZM-05-01-00

DEKRA Certification GmbH • Rosenheckstraße 19 • 70704 Singen • www.dekra-certification.com

Annex to the certificate no.50903101172 and 1710051922
from 09.10.2009 valid until 05.10.2012

The following locations belong to the certificate above:

Subsidiaries/ Sales offices	Street	Country Postcode	Location
1. Zentrale	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
2. Ladenburg	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
3. Alzenau	Borsigstraße 2	D-63755	Alzenau
4. Mivlen	Schillerstraße 22	D-32401	Mivlen
5. Göttingen	Dransfelder Straße 2	D-37079	Göttingen
6. Ransingen	Oberhäuser Straße 33	D-40472	Ransingen
7. Cölnbus	Gaglower Straße 17/18	D-50346	Cölnbus

List written on 09.10.2009



DEKRA Certification GmbH • Rosenheckstraße 19 • 70704 Singen • www.dekra-certification.com

page 1 of 1

Bild 3-133: Zertifikate

ZERTIFIKAT BS OHSAS 18001:2007



beschreibt hiermit, dass das Unternehmen



ABB Automation Products GmbH
Wallstader Straße 59 • 68526 Ladenburg
(weitere Standorte siehe Anhang)

Geltungsbereich:
Entwicklung, Projektierung, Planung, Fertigung, Service und Vertrieb
von Produkten und Dienstleistungen der Instrumentierung, Motoren & Antriebe
und Niederspannungsschaltanlagen systeme

ein Managementsystem für Arbeits- und Gesundheitsschutz entsprechend des oben genannten Standards
eingeführt hat und dieses einhalten wird. Der Nachweis wurde im Rahmen des Zertifizierungs-Audit
Bericht-Nr. A08111073 erbracht. Dieses Zertifikat ist nur in Verbindung mit der
erfolgreichen Durchführung der Überwachungsaudits gültig.

Dieses Zertifikat
ist gültig ab: 09.10.2009
Dieses Zertifikat
ist gültig bis: 05.10.2012
Letzter Audittag: 04.09.2009

Datum der
Erneuerung/Zertifizierung: 06.10.2008
Zertifikat-
Registrierungs-Nr.: 2710040162
Duplikat



DEKRA Certification GmbH • Heidenstraße 15 • D-37083 Springe • www.dekracertification.com

Anhang zum Zertifikat Nr. 2710040162
vom 05.10.2009 gültig bis 05.10.2012

Die folgenden Standorte fallen unter das o.g. Zertifikat:

Niederlassungen/ Vertriebsbüros	Straße	Land - PLZ	Ort
1. Zentralf	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
2. Ladenburg	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
3. Alzenau	Borsigstraße 2	D-63755	Alzenau
4. Minden	Schillerstraße 72	D-32425	Minden
5. Göttingen	Dramfelder Straße 2	D-37079	Göttingen
6. Ratingen	Oberhausener Straße 33	D-40472	Ratingen
7. Cottbus	Gaglow Straße 17/18	D-03046	Cottbus

Liste erstellt am 09.10.2009

DEKRA Certification GmbH



Seite 1 von 1

CERTIFICATE BS OHSAS 18001:2007



herby certifies that the company



ABB Automation Products GmbH
Wallstader Straße 59 • 68526 Ladenburg
(further locations see annex)

Business field:
Development, project engineering, planning, manufacturing, service and sales
of products and services of the instrumentation, motors & drives
and low-voltage switchgear systems.

has implemented and maintains an occupational health and safety management system according to the
above mentioned standard. Proof of conformity is documented in the certification audit report
no. A08111073. This certificate is only valid in connection with the successful performance
of the surveillance audits.

The certificate is valid
from: 09.10.2009
This certificate is
valid until: 05.10.2012
Last audit day: 04.09.2009

Date of the first
certification:
certification
registration no.: 2710040162
Duplicate



DEKRA Certification GmbH • Heidenstraße 15 • D-37083 Springe • www.dekracertification.com

Annex to the certificate no. 2710040162

from 09.10.2009 valid until 05.10.2012

The following locations belong to the certificate above:

Subsidiaries/ Sales offices	Street	Country Postcode	Location
1. Zentralf	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
2. Ladenburg	Wallstader Straße 59	D-68526	Ladenburg
3. Alzenau	Borsigstraße 2	D-63755	Alzenau
4. Minden	Schillerstraße 72	D-32425	Minden
5. Göttingen	Dramfelder Straße 2	D-37079	Göttingen
6. Ratingen	Oberhausener Straße 33	D-40472	Ratingen
7. Cottbus	Gaglow Straße 17/18	D-03046	Cottbus

List written on 09.10.2009

DEKRA Certification GmbH



page 1 of 1

Bild 3-134:

3.2 Schutzarten nach EN 60529 (Auszüge aus dem Normblatt)

Die Norm EN 60529 klassifiziert den Schutz von elektrischen Betriebsmitteln durch Gehäuse, Abdeckungen oder dergleichen. Sie legt Schutzarten mit Schutzgraden fest.

Die Norm EN 60529 umfasst:

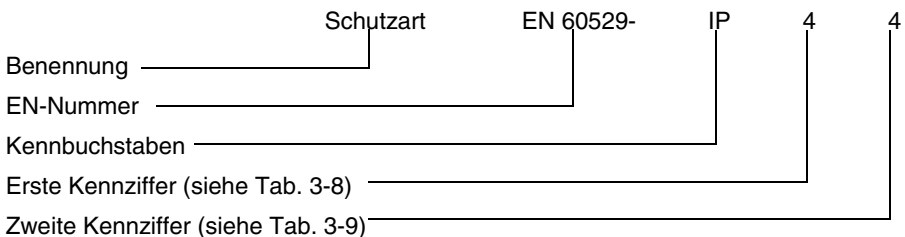
- Schutz von Personen gegen Berühren von betriebsmäßig unter Spannung stehenden Teilen oder gegen Annähern an solche Teile sowie gegen Berühren sich bewegender Teile innerhalb von Betriebsmitteln (Gehäusen) und Schutz der Betriebsmittel gegen Eindringen von festen Fremdkörpern (Berührungs- und Fremdkörperschutz).
- Schutz der Betriebsmittel gegen schädliches Eindringen von Wasser (Wasserschutz)

Bezeichnung

Die Schutzarten werden durch ein Kurzzeichen gekennzeichnet, das sich aus den zwei stets gleich bleibenden Kennbuchstaben IP (International Protection) und zwei nachfolgenden Kennziffern für die Schutzgrade zusammensetzt:

Die erste Kennziffer gibt den Schutzgrad des Berührungs- und Fremdkörperschutzes an. Die zweite Kennziffer gibt den Schutzgrad gegen schädliches Eindringen von Wasser an.

Für die Benennung des vollständigen Kurzzeichens (Kennbuchstaben und Schutzgrad-Kennziffern) ist der Begriff „Schutzart“ zu verwenden.



Ein Gehäuse mit dieser Bezeichnung ist gegen das Eindringen von festen Fremdkörpern über 1 mm Durchmesser und gegen Spritzwasser geschützt.

Weicht die Schutzart eines Teiles des Betriebsmittels, z. B. Anschlussklemmen, von der des Hauptteiles ab, so ist das Kurzzeichen für die Schutzart des abweichenden Teiles besonders anzugeben. Die niedrige Schutzart wird dabei zuerst genannt.

Beispiel: Klemmen IP 00 – Gehäuse IP 54

Schutzgrade für den Berührungs- und Fremdkörperschutz

Erste Kennziffer	Schutzgrad (Berührungs- und Fremdkörperschutz)
0	kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 50 mm (große Fremdkörper) ¹⁾ . Kein Schutz gegen absichtlichen Zugang, z. B. mit der Hand, jedoch Fernhalten großer Körperflächen.
2	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 12 mm (mittelgroße Fremdkörper) ¹⁾ . Fernhalten von Fingern oder ähnlichen Gegenständen.
3	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 2,5 mm (kleine Fremdkörper) ^{1) 2)} . Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 2,5 mm.
4	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 1 mm (kornförmige Fremdkörper) ^{1) 2)} . Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 1 mm.
5	Schutz gegen schädliche Staubablagerungen. Das Eindringen von Staub ist nicht vollkommen verhindert; aber der Staub darf nicht in solchen Mengen eindringen, dass die Arbeitsweise des Betriebsmittels beeinträchtigt wird (staubgeschützt) ³⁾ . Vollständiger Berührungsschutz.
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht). Vollständiger Berührungsschutz
¹⁾ Bei Betriebsmittel der Schutzgrade 1 bis 4 sind gleichmäßig oder ungleichmäßig geformte Fremdkörper mit drei senkrecht zueinander stehenden Abmessungen größer als die ent sprechenden Durchmesser-Zahlenwerte am Eindringen gehindert. ²⁾ Für die Schutzgrade 3 und 4 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern oder Kühlluftöffnungen in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees. ³⁾ Für den Schutzgrad 5 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.	

Tab. 3-8: Schutzgrade für die erste Kennziffer

Schutzgrade für den Wasserschutz

Zweite Kennziffer	Schutzgrad (Wasserschutz)
0	kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Tropfwasser).
2	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt. Es darf bei einem bis zu 15° gegenüber seiner normalen Lage gekippten Betriebsmittel (Gehäuse) keine schädliche Wirkung haben (schrägfallendes Tropfwasser).
3	Schutz gegen Wasser, das in einem beliebigen Winkel bis 60° zur Senkrechten fällt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Sprühwasser).
4	Schutz gegen Wasser, das aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel (Gehäuse) gerichtet wird. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Spritzwasser).
5	Schutz gegen einen Wasserstrahl aus einer Düse, der aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel (Gehäuse) gerichtet wird. Er darf keine schädliche Wirkung haben (Strahlwasser).
6	Schutz gegen schwere See oder starken Wasserstrahl. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen in das Betriebsmittel (Gehäuse) eindringen (Überfluten).
7	Schutz gegen Wasser, wenn das Betriebsmittel (Gehäuse) unter festgelegten Druck- und Zeitbedingungen in Wasser getaucht wird. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen eindringen (Eintauchen).
8	Das Betriebsmittel (Gehäuse) ist geeignet zum dauernden Untertauchen in Wasser bei Bedingungen, die durch den Hersteller zu beschreiben sind (Untertauchen).
¹⁾ Dieser Schutzgrad bedeutet normalerweise ein luftdicht verschlossenes Betriebsmittel. Bei bestimmten Betriebsmitteln kann jedoch Wasser eindringen, sofern es keine schädliche Wirkung hat.	

Tab. 3-9: Schutzgrade für die zweite Kennziffer

3.3 Anforderungen zur Störfestigkeit (EMV)

Die Messelektroniken für Durchflussmessgeräte werden immer leistungsfähiger und kompakter. Die digitale Datenverarbeitung mit Mikroprozessoren hat den Weg frei gemacht für neue Kommunikationsarten, Diagnosefunktionen und schnelle Ansprechzeiten. Die kompakte Bauform erfordert auch neue Wege bei der Energieversorgung. So sind moderne Messelektroniken mit Schaltnetzteilen ausgestattet. Damit die Funktion und Störsicherheit gegeben ist, werden die Messelektroniken umfangreichen Prüfungen unterzogen. Hierbei spielt die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eine wesentliche Rolle.

Im Zuge des gemeinsamen europäischen Marktes wurden verschiedene Richtlinien von der Europäischen Union (EU) erlassen. Hier wird festgelegt, dass alle Geräte, die innerhalb der EU in den Verkehr gebracht werden, die geltenden Richtlinien erfüllen müssen. Sichtbar für den Kunden wird dieses durch das CE-Zeichen, welches auf dem Gerät angebracht ist, und durch die Konformitätserklärung.

Im Laufe der Jahre haben sich die Messelektroniken und somit auch die Anforderungen an die Prüfverfahren stark verändert. Die EMV-Richtlinie ist an die neuen Anforderungen angepasst worden. Ab dem 20. Juli 2007 wird die neue EMV-Richtlinie 2004/108/EG durch die Hersteller angewendet.

Auf nationaler Ebene ist die neue EMV-Richtlinie 2004/108/EG unter anderem in den Fachgrundnormen EN 61000-6-2:2005 (Störfestigkeit im Industriebereich) und der EN 61000-6-4:2007 (Störaussendung im Industriebereich) umgesetzt. Die Produktnorm für elektrische Mess-, Steuer-, Regel-, und Laborgeräte-Messgrößenumformer, ist die EN 61326. Alle Durchflussmessgeräte von ABB entsprechen diesen Normen.

Neben den Anforderungen der EMV-Richtlinie 2004/108/EG, gibt es noch weitere Auflagen, beispielsweise die NAMUR-Empfehlung aus der chemischen Industrie. Hier sind verschärfte Prüfungen, mit höherem Prüfpegel als die EMV-Richtlinie fordert, vorgeschrieben.

Weiterhin existieren spezielle Anforderungen von der Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) (dt.: Internationale Organisation für das gesetzliche Messwesen), die spezielle Anforderungen an die Messgenauigkeit unter EMV-Einfluss stellt.

Störungsarten

Bei der EMV wird zwischen zwei unterschiedlichen Störungen unterschieden:

- Die leitungsgebundene Störung wird direkt von der Störquelle über die Versorgungs- oder Signalleitung zur Störsenke übertragen. Ein Knacken im Radio kann beispielsweise durch das Ausschalten eines Wasserkochers verursacht werden. Das automatische Abschalten der Versorgungsspannung des Wasserkochers erzeugt Spannungspulse mit einem Spektrum im hörbaren Frequenzbereich. Wenn diese Spannungspulse über die Versorgungsleitung zum Radio laufen, kommt es zu einer Knackstörung.
- Die feldgebundenen Störungen werden über elektromagnetische Felder auf die Störsenke übertragen und können dort beispielsweise von einer, als Antenne fungierenden Leiterbahn empfangen werden. Auch kapazitive und induktive Kopplungen elektrischer bzw. magnetischer Felder sind denkbar. Ein Beispiel für eine feldgebundene Störung ist die Einkopplung eines Handys in ein Radio. Grund hierfür kann ein nicht ausreichend abgeschirmter Lautsprecher sein.

Störungsursachen

Ein Störsignal entsteht z.B. durch zeitlich variierende Spannungen oder Ströme, etwa als Folge eines Schaltvorgangs. Daraus folgen periodische Spannungs- und Stromänderungen. Die zeitlich variablen Ströme und Spannungen an der Störquelle bedingen magnetische bzw. elektrische Felder, über die ein Störsignal an der Störsenke entstehen kann. Die Störquellen können folgende technische oder natürliche Ursachen haben:

- Schwankungen / Unterbrechungen der Versorgungsspannung.
- Elektromagnetische Felder, erzeugt durch Sendeanlagen im Frequenzbereich einiger kHz (Langwelle) bis mehrere GHz (Mobiltelefon, Mikrowelle).
- Durch Blitzeinschlag verursachter LEMP (lightning electromagnetic pulse).
- Durch Schaltvorgänge in Niederspannungsnetzen erzeugte energiereiche Impulsspitzen (Surge).
- Durch Schalten von Schaltnetzteilen entstehende hochfrequente, energiearme Burst-Impulse.
- Elektrostatische Entladungen - ESD (electrostatic discharge)
- Hochfrequente Signale, die bei Laständerungen von Mikroprozessoren oder Frequenzumrichtern entstehen.
- Ein Nuklearer Elektromagnetischer Puls (NEMP), verursacht durch eine Kernwaffenexplosion.

Verursacher von Störsignalen sind oft elektrische Schalter, Relais, Schütze, Leuchtstoffröhren, Magnetventile, Elektromotoren, Funkgeräte, aber auch atmosphärische Störer wie Blitze.

Bewertung des Störverhaltens

Das Störverhalten beurteilt die Reaktion eines Gerätes auf eine Störung, und zwar nach drei Bewertungskriterien:

- **Keine Funktionsbeeinflussung.**
Bei vorwiegend analogen Geräten sind erkennbare Beeinträchtigungen innerhalb der Fehlergrenzen zulässig. Rein digitale Geräte dürfen keine erkennbaren Auswirkungen zeigen.
- **Funktionsminderung.**
Es ist eine Beeinträchtigung der Funktion während der Störeinwirkung zulässig, wenn das Gerät nach der Störung selbstständig in den normalen Funktionsbetrieb zurückkehrt. Es dürfen keine bleibenden Schäden entstehen.
- **Funktionsverlust.**
Ermittelt wird der Funktionsverlust mit Beginn der Störeinwirkung bis zum automatischen Wiederanlaufen oder bis zur manuellen Wiederinbetriebnahme. Bei Über- oder Unterschreiten der Toleranzwerte müssen die Geräte einen automatischen Wiederanlauf ermöglichen oder einschaltbereit in definierter Sicherheitsstellung stehen.

Begrenzung der Störungen

Durch Funkentstörung an der Störquelle und ausreichende Störfestigkeit der Störsenke ist eine Begrenzung der Störung möglich.

Bei einer EMV-gerechten Schaltungsauslegung wird folgendes angestrebt:

- Unnötige Schaltvorgänge vermeiden.
- Nicht vermeidbare Schaltvorgänge so langsam wie technisch möglich ausführen.
- Unvermeidbare Störungen durch entsprechendes Design so lokal wie möglich zu begrenzen (z. B. RC-Glieder zur Entstörung einbauen, Gehäuse und Leitungen abschirmen).
- EMV-gerechtes Platinenlayout wählen (z. B. Leiterbahnlängen an die Frequenzen anpassen, Masseflächen zur Abschirmung verwenden etc.).
- Ausreichende Störfestigkeit sicherstellen (z. B. durch Filter, Abblockkondensatoren und fehlertolerante Software).

Beim geräteübergreifenden EMV-Schutz wird folgendes angestrebt:

- Durch Systemanalyse Störquellen und Störsenken ermitteln.
- Ausreichende Schirmung gewährleisten.
- Abstände einhalten.
- Die Störfestigkeit der Störsenke verbessern.

Durch die Einführung eines Störschutzkonzeptes mit definierten Bedingungen für die jeweils zu betreibenden Geräte lässt sich die Elektromagnetische Verträglichkeit in Anlagen und Systemen sicher umsetzen.

3.4 Explosionsschutz

Unter den vielen Produkten und Zwischenprodukten der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie gibt es eine große Anzahl, die zusammen mit anderen Stoffen oder mit dem Sauerstoff der Luft explosionsfähige Gemische bilden können. Mess- und Regelgeräte, die mit derartigen Gemischen in Verbindung treten, dürfen Explosionen nicht herbeiführen, müssen aber trotzdem einwandfrei funktionieren.

Damit es zur Explosion kommt, müssen einige Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein.

- Ein ausreichender Dispersionsgrad (Grad der Zerstäubung) bei Nebeln oder Stäuben verlangt Teilchengrößen zwischen 0,1 und 0,001 mm. Bei Gasen ist der notwendige Grad naturgegeben.
- Erst wenn die Konzentration eines brennbaren Stoffes in Luft einen Mindestwert überschreitet, ist die Explosion möglich. Andererseits gibt es einen Maximalwert (zu fettes Gemisch), bei dem eine Explosion nicht mehr zustandekommt.
- Natürlich muss eine ausreichende Menge des Gemisches zur Verfügung stehen. Bereits 10 Liter explosionsfähiger Atmosphäre gelten als gefährlich.
- Eine wirksame Zündquelle muss genügend Energie besitzen, um die Explosion anzufachen.

Bei Betrachtung dieser Kriterien ergeben sich zwangsläufig die Maßnahmen zur Verhinderung einer Explosion:

Explosionsfähige Gemische sind zu vermeiden, die Menge ist zu begrenzen, die Zündung muss verhindert werden, im äußersten Fall sind die Auswirkungen einzugrenzen.

Diese Maßnahmen werden bei der Konstruktion von Geräten berücksichtigt, indem beispielsweise der Raum, in dem sich ein explosionsfähiges Gemisch sammelt, sehr klein gestaltet wird oder indem der Energieinhalt eines möglichen Zündfunken gering gehalten wird oder indem die Explosion auf einen kleinen Raum begrenzt wird.

3.4.1 Internationale Aufstellung des Explosionsschutzes

Der Explosionsschutz ist weltweit durch unterschiedliche landesspezifische Normen geregelt. Das bedeutet für ABB-Produkte: gleiches technisches Design mit verschiedenen länderspezifischen Zulassungen. Nur so ist eine weltweite Vermarktung bei kleiner Produktvarianz möglich und der Anwender kann weltweit das gleiche Produkt einsetzen. Diese Strategie führt zu Kostenreduzierungen auf der Kundenseite, z. B. bei Schulungen, Projektierungen und Wartung der entsprechenden Produkte.

	Europäische Union	USA	Kanada	Russland	Ukraine	Australien
Richtline / Norm / Zulassungsstelle	ATEX – PTB – EXAM – BBG – KEMA – TÜV Nord – ZELM – IBExU ...	FM Ex-Approval UL Ex-Approval	CSA-Certificate	GOST Russland	GOST Ukraine	IECEX
Gültigkeit	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung	Ca. 5 Jahre	Ca. 5 Jahre	Keine Einschränkung
Fertigungsüberwachung / Audit	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja

Tab. 3-10: Übersicht wichtiger länderspezifischer Normungen, Zulassungen und Zulassungsstellen

Im Kern sind die Anforderungen der Zulassungen sehr ähnlich und haben das gemeinsame Ziel, dass nach aktuellem Stand der Technik keine Explosion in einer Anlage, die gemäß den nationalen Anforderungen des Explosionsschutzes instrumentiert wurde, stattfindet.

3.4.2 Begriffsdefinitionen

Explosion

Unter einer Explosion versteht man eine exotherme Reaktion eines Stoffes, die mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit abläuft. Dies setzt das Vorhandensein eines explosionsfähigen Gemisches/Atmosphäre und einer Zündquelle, sowie einer äußeren Einwirkung zum Auslösen der Explosion voraus.

Explosionsgefahr

Unter Explosionsgefahr versteht man das Vorhandensein eines explosionsfähigen Gemisches/Atmosphäre, ohne dass eine Zündung durch eine Zündquelle mit äußerer Einwirkung erfolgt.

Explosionsfähiges Gemisch/Atmosphäre

Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.

Explosionsgrenzen

Die untere (UEG) und obere (OEG) Explosionsgrenze gibt den Bereich eines Gemisches in Luft an, in dem es explosionsfähig ist. Die Grenzen können in der entsprechenden Literatur stoffspezifisch nachgeschlagen werden.

Explosionsgruppen gemäß EN-Normen

Die Zündfähigkeit und das Zünddurchschlagsvermögen eines explosionsfähigen Gemisches sind stofftypische Eigenschaften. Diese Angaben sind besonders wichtig für die Konstruktion von Betriebsmitteln. Bei eigensicheren elektrischen Betriebsmitteln ist die Zündenergie das Kriterium für die Zündfähigkeit. Je geringer die erforderliche Zündenergie, umso gefährlicher das Gemisch. Das Zünddurchschlagsvermögen liefert den Hinweis auf die Ausbildung von Grenzspaltweiten und Spaltlängen in den Betriebsmitteln der druckfesten Kapselung.

Explosionsgruppe	Zündenergie	Testgas	Bereich
I	< 200 µJ ¹⁾	Methan in Luft	Schlagwetterschutz
II A	< 160 µJ ¹⁾	Propan in Luft	Explosionsschutz
II B	< 60 µJ ¹⁾	Ethylen in Luft	
II C	< 20 µJ ¹⁾	Wasserstoff in Luft	
1) Verdopplung der Energiewerte zulässig, wenn die Ladespannung < 200 V ist.			

Tab. 3-1: Aufstellung der Explosionsgruppen nach EN-Normen

Gase und Dämpfe werden nach den genannten Kriterien klassifiziert. Nachstehende Tabelle zeigt die Zuordnung einiger Stoffe. Das für diese Stoffe verwendete Betriebsmittel muss entsprechend qualifiziert sein.

Explosionsgruppe	Zündtemperatur					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	Methan					
II A	Aceton Ethan Ethylacetat Ammoniak Benzol (rein) Essigsäure Methanol Propan Toloul	Ethylalkohol i-Amylacetat n-Butan n-Butylalkohol	Benzine Dieselkraftstoff Flugzeugkraftstoff Heizöle n-Hexan	Acetylaldehyd Ethyläther		
II B	Kohlenmonoxid	Ethylen	Schwefelwasserstoff	Ethylether Butylether		
II C	Wasserstoff	Acetylen				Schwefelkohlenstoff

Tab. 3-2: Stoffzuordnung nach Explosionsgruppe

Flammpunkt

Ist die niedrigste Temperatur, bei der sich aus der zu prüfenden Flüssigkeit unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass sie mit der Luft über dem Flüssigkeitsspiegel ein entflammbares Gemisch ergeben.

Zündenergie

Die Mindest-Zündenergie ist die Energie, die in einem Funken steckt, um das umgebende explosionsfähige Gas-Luftgemisch zu zünden.

Zündtemperatur gemäß EN-Normen

Die Zündtemperatur eines brennbaren Stoffes ist die in einem Prüfgerät ermittelte niedrigste Temperatur einer erhitzten Wand, an der sich der brennbare Stoff im Gemisch mit Luft gerade noch entzündet.

Die Zündtemperatur von Flüssigkeiten und Gasen wird nach dem in DIN 51794 festgelegten Verfahren ermittelt. Für die Bestimmung der Zündtemperatur brennbarer Stäube existiert zur Zeit noch kein genormtes Verfahren. In der einschlägigen Literatur werden dazu mehrere Verfahren angegeben.

Die brennbaren Gase und Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten sind nach ihren Zündtemperaturen, die Betriebsmittel nach der Oberflächentemperatur, in Temperaturklassen eingeteilt.

Temperaturklasse	Höchstzulässige Oberflächentemperatur der Betriebsmittel in °C	Zündtemperaturen der brennbaren Stoffe in °C
T1	450	> 450 ...
T2	300	> 300 ≤ 450
T3	200	> 200 ≤ 300
T4	135	> 135 ≤ 200
T5	100	> 100 ≤ 135
T6	85	> 85 ≤ 100

Tab. 3-3: Temperaturklassen-Einteilung

Zündquellen

Nachfolgend sind häufig in der Praxis vorkommende Zündquellen genannt:

- heiße Oberflächen (Heizungen, heiße Apparate, etc.),
- Flammen und heiße Gase (von Verbrennungen),
- mechanisch erzeugte Funken (durch Reib-, Schlag- und Schleifvorgänge),
- Funken von elektrischen Anlagen,
- Ausgleichsströme,
- statische Elektrizität,
- Blitzschlag, Ultraschall,
- optische Zündquellen,
- elektrische Felder durch Funkwellen,
- ...

Primärer und sekundärer Explosionsschutz

Bei der Vermeidung von Explosionen wird vom primären und sekundären Explosionsschutz gesprochen.

Der *primäre Explosionsschutz* basiert auf der Verhinderung der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre, also:

- Vermeidung von brennbaren Flüssigkeiten und Gasen,
- Veränderung des Flammpunktes nach oben,
- Verhinderung von Explosionsgemischen durch Konzentrationsbegrenzungen,
- Belüftung, technisch oder Freifeldanlagen,
- Konzentrationsüberwachung mit Notabschaltung.

Der *sekundäre Explosionsschutz* umfasst alle Maßnahmen, mit denen die Zündung einer gefährlichen Atmosphäre verhindert bzw. vermieden wird, also:

- Keine wirksame Zündquelle
 - Eigensichere Betriebsmittel
 - Kapselung der Zündquelle zur Verhinderung der externen Zündung
 - Sandkapselung
 - Vergusskapselung
 - Druckfeste Kapselung
 - Überdruckkapselung
 - ...

Zoneneinteilung gemäß EN-Norm

Der explosionsgefährdete Bereich ist in Zonen eingeteilt. Hierbei wird die Wahrscheinlichkeit mit der eine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden sein kann, als Kriterium zur Zoneneinteilung wie folgt verwendet:

Für Gase, Dämpfe und Nebel (EN 60079-10)

Zone 0: Bereich, in dem eine gefährliche, explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebel *ständig, über lange Zeiträume, oder häufig vorhanden ist*.

Kategorie: 1 G

Zone 1: Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb *gelegentlich* eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebel bilden kann.

Kategorie: 2 G

Zone 2: Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebel normalerweise *nicht und wenn, aber nur kurzzeitig* auftritt.

Kategorie: 3 G

Für Stäube (EN 61241-10)

Zone 20: Bereich, in dem eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub *ständig, über lange Zeiträume, oder häufig vorhanden ist*.

Kategorie: 1 D

Zone 21: Bereich, in dem sich im *Normalbetrieb* eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub *bilden kann*.

Kategorie: 2 D

Zone 22: Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise *nicht und wenn, aber nur kurzzeitig* auftritt.
Kategorie: 3 D

Anmerkung:

Schichten, Ablagerungen und Anhäufungen von brennbarem Staub sind wie jede andere Ursache, die zur Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre führen kann, zu berücksichtigen.

Als Normalbetrieb gilt der Zustand, in dem eine Anlage innerhalb ihrer Auslegungparameter betrieben wird.

Betriebsmittel der Kategorie 1G/1D, Gerätegruppe II

Kategorie 1G (Gas) und 1D (Staub) umfasst Betriebsmittel, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein sehr hohes Maß an Sicherheit gewährleisten.

Betriebsmittel dieser Kategorien sind zur Verwendung in der Zone 0 (1G Betriebsmittel) und in der Zone 20 (1D Betriebsmittel) geeignet. Geräte dieser Kategorien müssen selbst bei selten auftretenden Gerätestörungen das erforderliche Maß an Sicherheit gewährleisten und weisen daher Explosionsschutzmaßnahmen auf, so dass

- beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet, bzw.
- beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern die erforderliche Sicherheit gewährleistet wird.

Die Geräte dieser Kategorie müssen die weitergehenden Anforderungen des Anhangs II, Nummer 2.1 der EU-Richtlinie 94/9/EG erfüllen.

Betriebsmittel der Kategorie 2G/2D, Gerätegruppe II

Kategorie 2G (Gas) und 2D (Staub) umfasst Betriebsmittel, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten.

Betriebsmittel dieser Kategorien sind zur Verwendung in der Zone 1 (2G Betriebsmittel) und in der Zone 21 (2D Betriebsmittel) geeignet. Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen dieser Kategorie gewährleisten selbst bei häufigen Gerätestörungen oder Fehlerzuständen, die üblicherweise zu erwarten sind, das erforderliche Maß an Sicherheit.

Betriebsmittel der Kategorie 3G/3D, Gerätegruppe II

Kategorie 3G und/oder 3D umfasst Betriebsmittel, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein Normalmaß an Sicherheit gewährleisten.

Betriebsmittel dieser Kategorien sind zur Verwendung in der Zone 2 (3G Betriebsmittel) und in der Zone 22 (3D Betriebsmittel) während eines kurzen Zeitraums geeignet. Betriebsmittel dieser Kategorie gewährleisten bei normalem Betrieb das erforderliche Maß an Sicherheit.

DIV Einteilung gemäß NEC500 (USA) und CEC Annex J (Kanada)

Neben der Zoneneinteilung Zone 0 und Zone 1 nach europäischer Instrumentierung für den explosionsgefährdeten Bereich, gibt es gemäß NEC500 und CEC Annex J die Einteilung in Divisionen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick für die Einteilung der Zonen und Divisionen.

IEC / EU	Zone 0	Zone 1	Zone 2
US NEC505	Zone 0	Zone 1	Zone 2
US NEC500	Division 1		Division 2
CA CEC Section 18	Zone 0	Zone 1	Zone 2
CA CEC Annex J	Division 1		Division 2

Tab. 3-4: Gegenüberstellung von Zonen und Divisionen

IEC Klassifizierung gemäß IEC 60079-10

EU Klassifizierung gemäß EN60079-10

US Klassifizierung gemäß ANSI/NF PA70 National Electrical Code Article 500 und/oder 505

CA Klassifizierung gemäß CSA C22.1 Canadian Electrical Code (CEC) Section 18 und/oder Annex J

Explosionsgruppen gemäß NEC500 (USA) und CEC Annex J (Kanada)

Explosionsgruppe US NEC500 CA CEC Annex J	Explosionsgruppe US NEC505 CA CEC Section 18 EU IEC	Testgas	Bereich
Mining	I	Methan	Schlagwetterschutz
Class I Group D Class I Group C Class II Group A Class I Group B	II A II B II C II B + Wasserstoff	Propan Ethylen Acetylen Wasserstoff	Explosionsschutz

Tab. 3-5: Aufstellung der Explosionsgruppen nach US/CA-Normen

Temperaturklassen gemäß NEC500 (USA) und CEC Annex J (Kanada)

Max. Oberflächen-Temperatur	US NEC505 CA CEC Section 18 EU IEC	US NEC 500 CA CEC Annex J
450 °C	T1	T1
300 °C	T2	T2
280 °C		T2A
260 °C		T2B
230 °C		T2C
215 °C		T2D
200 °C	T3	T3
180 °C		T3A
165 °C		T3B
160 °C		T3C
135 °C	T4	T4
120 °C		T4A
100 °C	T5	T5
85 °C	T6	T6

Tab. 3-6: Temperaturklassen-Einteilung nach US/CA-Normen

3.4.3 Zündschutzarten in Europa und in Nordamerika

Zündschutzart „Eigensicherheit - Ex i“ gemäß EN 50020 bzw. EN 60079-11

Die im explosionsgefährdeten Bereich eingesetzten Betriebsmittel enthalten nur eigensichere Stromkreise. Ein Stromkreis ist dann eigensicher, wenn kein Funke und kein thermischer Effekt, der unter festgelegten Prüfungsbedingungen (die den normalen Betrieb und bestimmte Fehlerbedingungen umfassen) auftritt, die Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.

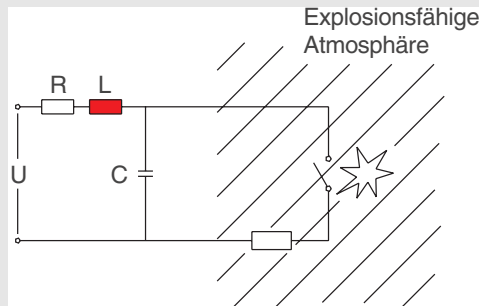


Bild 3-1: Schemadarstellung Eigensicherheit

Bei Eigensicherheit unterscheidet man zwei Kategorien.

Kategorie "ia" zum Einsatz in Zone 0:

Die Geräte müssen so konzipiert sein, dass im Falle eines Fehlers oder bei jeder möglichen Kombination von zwei Fehlern eine Zündung ausgeschlossen ist.

Kategorie "ib" zum Einsatz in Zone 1:

Die Geräte müssen so konzipiert sein, dass im Falle eines Fehlers eine Zündung ausgeschlossen ist.

Zündschutzart „Druckfeste Kapselung Ex - d“ gemäß EN 50018 bzw. EN 60079-1

Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemisches im Inneren den Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende Atmosphäre durch spezielle Geometrie der Spalte verhindert.

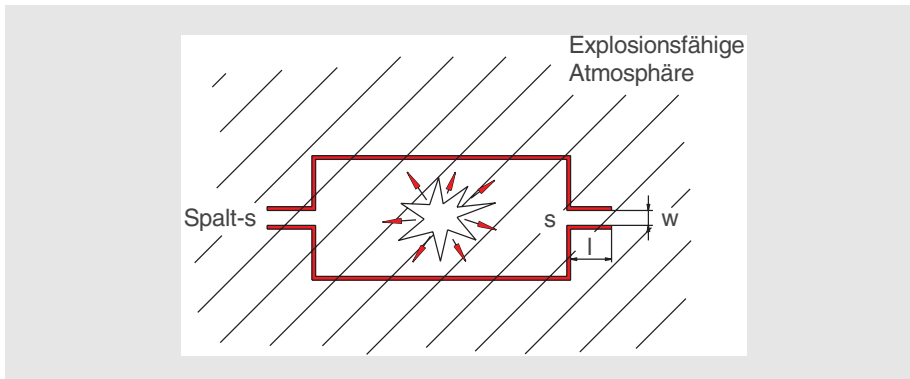


Bild 3-2: Schemadarstellung Druckfeste Kapselung

Zündschutzart „erhöhte Sicherheit Ex e“ gemäß EN 50019 bzw. EN 60079-7

Hier sind zusätzliche Maßnahmen getroffen, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen im Inneren oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern.

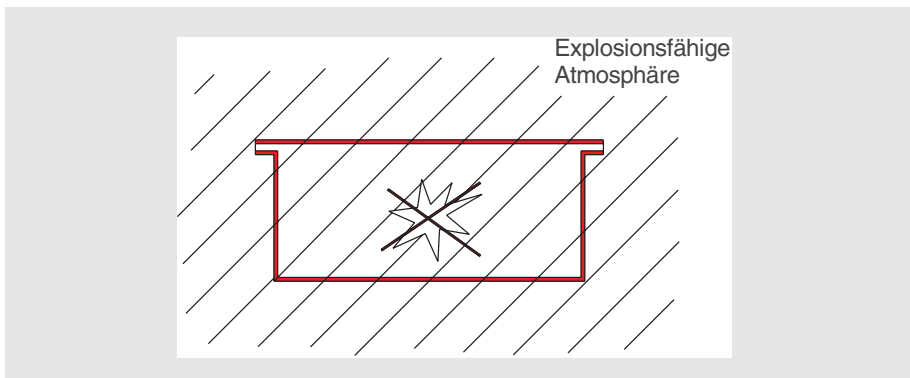
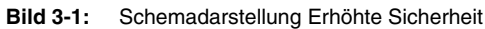


Bild 3-3: Schemadarstellung Erhöhte Sicherheit

Hier sind Maßnahmen getroffen, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen im Inneren oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern.



Das Eindringen einer explosionsfähigen Atmosphäre in das Gehäuse von elektrischen Betriebsmitteln wird dadurch verhindert, dass im Gehäuseinneren ein Zündschutzgas (Luft, inertes oder anderes geeignetes Gas) unter Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre gehalten wird. Der Überdruck wird mit oder ohne laufende Zündschutzgasdurchspülung aufrecht erhalten.



Zündschutzart „Ölkapselung o“ (EN50015 bzw. EN 60079-6)

Elektrische Betriebsmittel oder Teile von elektrischen Betriebsmitteln werden durch Einschließen in Öl in dem Sinne sicher gemacht, dass eine explosionsfähige Atmosphäre über der Oberfläche oder außerhalb des Gehäuses nicht gezündet wird.

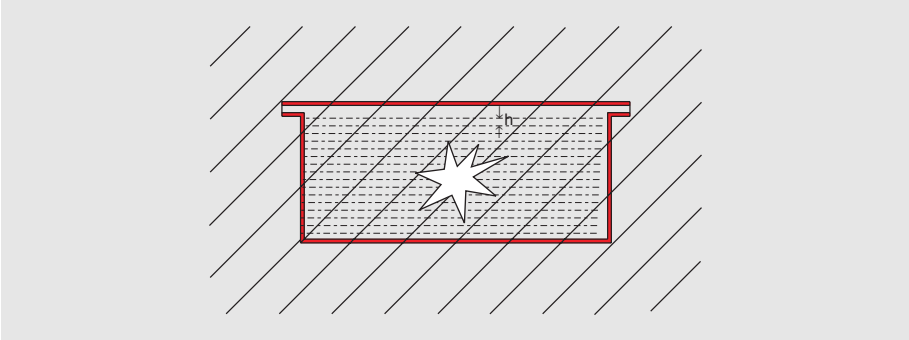


Bild 3-3: Schemadarstellung Ölkapselung

Zündschutzart „Sandkapselung q“ (EN50017 bzw. EN 60079-5)

Durch Füllung des Gehäuses eines elektrischen Betriebsmittels mit einem feinkörnigen Füllgut wird erreicht, dass bei bestimmungsmäßigen Gebrauch ein in seinem Gehäuse entstehender Lichtbogen eine das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre nicht zündet. Es darf weder eine Zündung durch Flammen noch eine Zündung durch erhöhte Temperaturen an der Gehäuseoberfläche erfolgen.

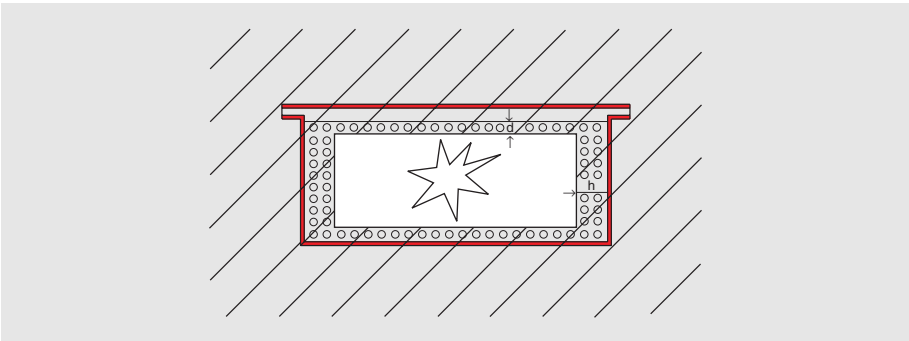


Bild 3-4: Schemadarstellung Sandkapselung

Zündschutzart „Vergusskapselung m“ gemäß EN 50028 bzw. EN 60079-18

Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, werden so in eine gegenüber Umgebungseinflüssen genügend widerstandsfähige Vergussmasse eingebettet, dass die explosionsfähige Atmosphäre weder durch Funken noch durch Erwärmung, die innerhalb der Vergusskapselung entstehen können, gezündet werden kann.

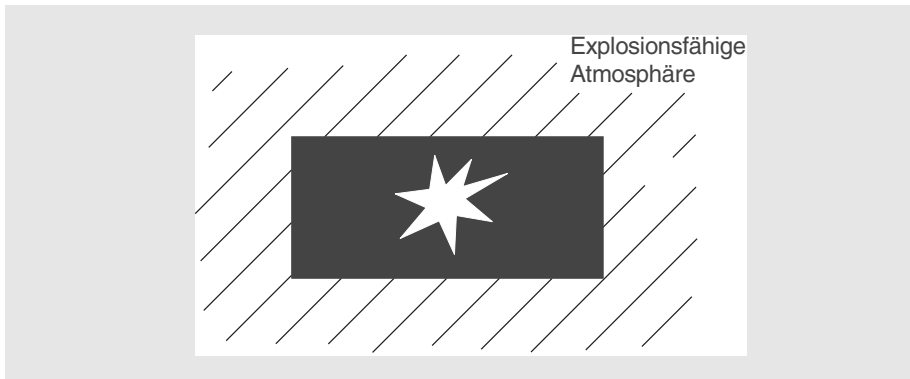


Bild 3-4: Schemadarstellung Vergusskapselung

Zündschutzart „nicht funkende Betriebsmittel – nA“ gemäß EN 50021 bzw. EN 60079-15

Nicht funkende Betriebsmittel sind so konstruiert, dass das Risiko des Auftretens von Lichtbögen oder Funken, die eine Zündgefahr während des normalen Gebrauchs entstehen lassen können, minimiert wird. Der normale Gebrauch schließt das Entfernen oder Einbringen von Bauteilen aus, während der Stromkreis unter Spannung steht.

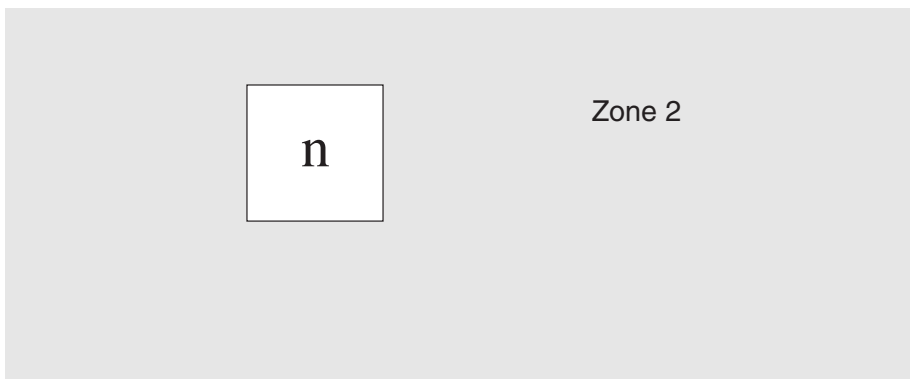


Bild 3-5: Schemadarstellung für nicht funkende elektrische Betriebsmittel

3.4.4 Zulassungen gemäß FM Approval Standards

Temperaturprodukte von ABB erfüllen, je nach Zertifizierung und Einsatzbereich, eine oder mehrere der folgenden FM-Normen:

- Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for use in Class I, II and III, Division 1, and Class I, Zone 0 and 1. Hazardous (Classified) Locations. Approval Standard Class Number 3610.
- Nonincendive Electrical Equipment for use in Class I and II, Division 2, and Class III, Divisions 1 and 2. Hazardous (Classified) Locations. Approval Standard Class Number 3611.
- Explosionproof Electrical Equipment General Requirements. Approval Standard Class Number 3615.

Die entsprechende Betriebsanleitung und das Control Drawing ist bei der Installation des Gerätes zu berücksichtigen. Weiterhin muss der National Electrical Code (NEC) bei der Installation beachtet werden.

3.4.5 Zulassungen gemäß CSA-Standards

Durchflussmesser von ABB erfüllen, je nach Zertifizierung und Einsatzbereich, einen oder mehrere der folgenden CSA-Standards.

- CAN/CSA-E60079-11:02 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 11: Intrinsic safety „i“
C22.2 No.213-M1987 (Reaffirmed 1999) Non-incendive Electrical Equipment for use in Class I, Division 2. Hazardous Locations.
- C22.2 No. 30-M1986 (Reaffirmed 1999) Explosion-proof Enclosures for use in Class I. Hazardous Locations.

Die entsprechende Betriebsanleitung und das Control Drawing ist bei der Installation des Gerätes zu berücksichtigen. Weiterhin muss der Canadian Electrical Code (CEC) Part I (Safety Standard for Electrical Installation) bei der Errichtung beachtet werden.

3.4.6 Explosionsgeschützte elektrische Geräte im freien Warenverkehr

Die Voraussetzungen für einen ungehinderten Warenverkehr innerhalb der Europäischen Gemeinschaft werden durch EG-Richtlinien geregelt. Seit 1. Juli 2003 ist die Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95, ehemals 100a) anzuwenden.

Zusätzlich fordert die ATEX 95 ein Konformitätsbewertungsverfahren der Qualitätssicherung der Hersteller, die die besonderen Anforderungen bei der Entwicklung, Konstruktion und der Produktion von explosionsgeschützten Betriebsmitteln berücksichtigt.

Geräte, die entsprechend der ATEX 95 geprüft und für die eine EG-Baumusterprüfbescheinigung von der Prüfstelle ausgestellt wurde, werden zusätzlich mit der CE-Kennzeichnung versehen. Ergänzend wird die Kennnummer der Prüfstelle angegeben, die eine Bewertung der Qualitätssicherung vorgenommen hat.

Technische Daten und sicherheitsrelevante Abschnitte der Betriebsanleitung müssen zusätzlich in der Landessprache des Verwenderlandes vorliegen.

3.4.7 Kennzeichnung von Betriebsmitteln

Betriebsmittel für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen müssen vom Hersteller eindeutig gekennzeichnet werden. Sie sind gemäß EN 50014 bzw. EN 60079-0 / EN 50020 bzw. EN 60079-11 mit der folgenden Kennzeichnung zu versehen:

- Name und Anschrift des Herstellers.
- CE-Kennzeichnung.
- Bezeichnung der Serie und des Typs.
- Gegebenenfalls die Seriennummer.
- Baujahr.
- Spezielles Kennzeichen zur Verhütung von Explosionen, in Verbindung mit dem Kennzeichen, das auf die Kategorie verweist.
- Für die Gerätegruppe II der Buchstabe „G“ (für Bereiche in denen explosionsfähige Gas-, Dampf-, Nebel-, Luft-Gemische vorhanden sind) und/oder der Buchstabe „D“ (für Bereiche, in denen Staub explosionsfähige Atmosphären bilden kann).

Beispiel einer ABB Ex-Schutz-Klassifizierung und Kennzeichnung

The diagram shows a technical label for an ABB FCM2000 MC27 device. The label contains the following information:

- ABB Logo and Model:** FCM2000 MC27
- CE Marking:** 0044
- ATEX Certification:** KEMA 08ATEX0150 X
- Ex-Coding:** II 1/2G Ex d e [ia] [ib] IIC T6...T2<= DN50
- IECEx Certification:** IECEx KEMA08.0034X
- Electrical data:** Ex d e [ia] [ib] IIC T6...T2<= DN50, Ex d A21 IP6X T115°C...T_{amb}, Ex d [iaD] A21 IP6X T115°C...T_{amb}
- Order no.:** 240134885x001
- Model no.:** MC27B11F25F11MGCCB1G
- U/f nom:** 230V AC, Smax: <25VA
- Size:** "F" DN25 / 1" / Type:4X, IP 67
- Tamb:** -20°C ... +60°C
- Fitting:** DN25 / 1" / PN40
- Material:** 1.4571 / 1.4308 (316Ti/CF8), K: 80.02
- Kal.:** F: +/- 0.1%, D: 5g/l, Var.: HART
- Qmax DN:** 160kg/min
- Tag no.:** FT-402
- ABB Automation Products GmbH**, 37070 Göttingen - Germany
- Year 2009**

Numbered callouts (1-13) point to the following features:

- ATEX-Zulassung
- IECEx-Zulassung
- Auftragsnummer
- Komplette Modellnummer
- Energieversorgung und maximale Leistungsaufnahme
- Nennweite und Schutzart
- Umgebungstemperatur
- Prozessanschluss und Druckstufe
- Messrohrmaterial und Kalibrierfaktor
- Kommunikationsart
- TAG-Nummer
- Kalibriergenauigkeit
- Max. Durchflussmenge

Bild 3-1: Beispiel einer Gerätekennzeichnung (hier gemäß ATEX)

EG-Baumusterprüfbescheinigung: KEMA 08 ATEX 0150 X

KEMA = Zulassungsstelle
 08 = Jahr der Zulassung
 ATEX = Richtlinie 94/9 EG
 0150 = lfd. Nummer
 X = besondere Bedingungen

Ex-Coding: II 1/2G Ex d e [ia] [ib] IIC T6 ... T2

II = Explosionsgruppe
 1/2 = Kategorie 1 und Kategorie 2
 G = Gase, Dämpfe, Nebel
 Ex = Kennzeichen für Explosionsschutz
 d = Zündschutzart druckfeste Kapselung
 e = Zündschutzart erhöhte Sicherheit
 ia = Zündschutzart Eigensicherheit, 2-Fehler Sicherheit
 ib = Zündschutzart Eigensicherheit, 1-Fehler Sicherheit
 IIC = Explosionsgruppe IIC
 T6 ... T2 = Temperaturklasse

3.5 GOST- Zulassungen für die Durchflussmesstechnik

Hinweis: Für nachstehende Informationen kann ABB in Bezug auf mögliche gesetzliche Änderungen der Zulassungsprozeduren und Formalitäten, sowie gegenüber möglichen gesetzlichen Vorschriften, die außerdem in den jeweiligen Ländern Russland, Weißrussland, Ukraine und Kasachstan gelten, keinerlei Haftung übernehmen.

3.5.1 Russland

GOST-R

Das GOST-R-Zertifikat ist ein Pflichtzertifikat.

Herkunft

Die Bezeichnung Gost-R-Zertifikat hat sich im Laufe der Zeit etabliert. Es heißt in der Übersetzung „Übereinstimmungs-Zertifikat“ und bedeutet, dass das Erzeugnis mit den Anforderungen der jeweiligen GOST-Normen übereinstimmt.

Einführung des GOST-R-Zertifizierungssystems

Aus Gründen des Verbraucherschutzes führten die russischen Behörden erstmals 1989 vorläufige Vorschriften zur Qualitätssicherung der in Russland hergestellten und vertriebenen Produkte ein. Anfang der 90-er Jahre wurden diese Vorschriften in Kraft gesetzt. Dadurch entstand die rechtliche und technische Grundlage der Schaffung des nationalen Zertifizierungssystems. Ab 1992 wurden diese Vorschriften in der Praxis umgesetzt.

Es besteht Zertifizierungspflicht für Waren, die in der Russischen Föderation hergestellt oder eingeführt werden. Das GOST-R-Zertifikat ist vergleichbar mit der CE-Konformitätserklärung.

Das GOST-R unterscheidet sich von dem CE dadurch, dass das CE vom Hersteller selbst ausgestellt werden kann und das GOST-R nur von einer externen Zertifizierungsgesellschaft vergeben wird.

Zertifizierungsprozess

Zuerst werden die Erzeugnisse im Laboratorium oder vor Ort in einer Inspektion geprüft. Ein Experte der Zertifizierungsgesellschaft prüft die Prüfergebnisse und entscheidet über die Zertifikatsausstellung. Es werden die Zolltarifnummer und der Code OKP (Russische Produktklassifikation) bestimmt. Daraufhin wird das Zertifikat ausgestellt. Für zertifizierte Produkte besteht eine Kennzeichnungspflicht auf Verpackung, Typschild und Produktdokumentation.

Für den Export nach Russland ist das Zertifikat ein wichtiger Bestandteil der Exportpapiere. Außer der GOST-R-Zertifizierung gibt es weitere Zertifizierungen und Zulassungen. Im russischen Innenmarkt stellen die Zertifikate ein wesentliches Qualitätsmerkmal dar, welches eine nicht zu unterschätzende Werbewirkung erzielt. Das Zertifikat wird vom Endverbraucher als Ausdruck hoher Qualität wahrgenommen.

Es gibt Produktgruppen, für die kein GOST-R-Zertifikat vorgeschrieben ist. Für diese werden sogenannte Negativbescheinigungen ausgestellt.

Es gibt verschiedene Arten des GOST-R-Zertifikats:

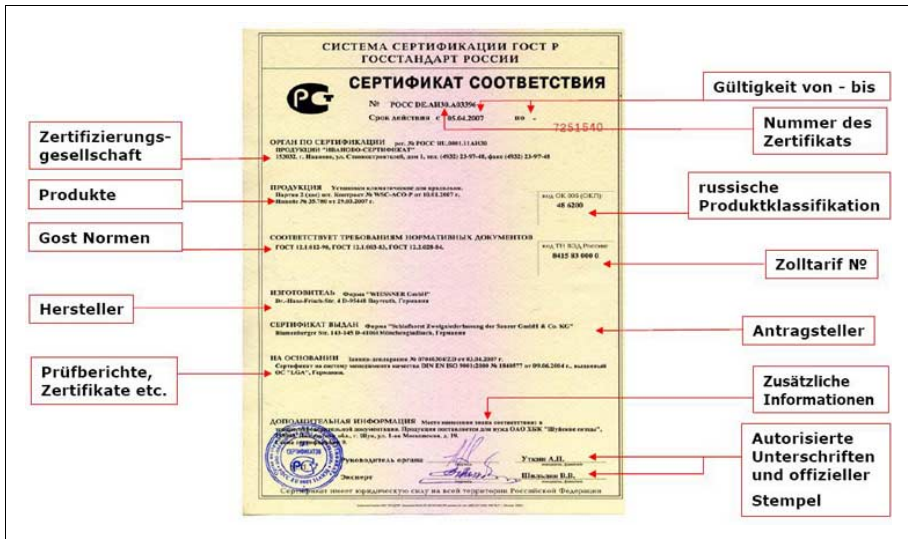
Das vertragsbezogene Zertifikat

Dieses wird für einen Vertrag ausgestellt und bleibt so lange gültig, bis der Vertrag komplett erfüllt ist.

Dabei muss der Vertrag mit dem russischen Kunden geschlossen sein, der die Waren in Russland einführt.

Zertifikat mit einer Gültigkeit von 1 bis 3 Jahren

Mit diesem Zertifikat können die Exporteure in diesem Zeitraum ein Produkt beliebig oft exportieren. Bei einem Zertifikat mit einer Gültigkeit von 3 Jahren fordern die russischen Behörden die Durchführung von Audit-Inspektionen vor Ort im Herstellerwerk.



Produkte

Gost Normen

Hersteller	
------------	--

**Prüfberichte,
Zertifikate etc.**

Gültigkeit von - bis

Nummer des
Zertifikats

**russische
Produktklassifikation**

Zolltarif №

Antragsteller

Zusätzliche Informationen

**Autorisierte
Unterschriften
und offizieller
Stempel**

GOST-Metrologie (Pattern Approval Certificate)

Die Messmittel-Zulassung oder auch Metrologisches Zertifikat ist ein Pflichtzertifikat für die Durchflusssmesstechnik.

Dieses Zertifikat ist eine besondere Variante und setzt das Vorliegen eines GOST-R-Zertifikates voraus. Es betrifft vorwiegend die Betriebssicherheit von Messgeräten. Ausgestellt wird das Zertifikat direkt von der Agentur für technische Regulierung und Metrologie (Rostechregulirovanie). Basis der Genehmigung sind vorhergehende Prüfungen des Geräts durch akkreditierte Experten einer staatlichen metrologischen Einrichtung.

Die Registrierung beinhaltet den Eintrag des Gerätes in die Datenbank der Regulierungsbehörde. Dies bietet den Vorteil, dass ein einmal eingetragenes Gerät nicht wiederholt registriert werden muss.



GOST-Explosionsschutz

Das GOST-EX-Zertifikat ist ein Pflichtzertifikat für Durchflussmessgeräte in explosionsgeschützter Ausführung. GOST-EX-Zertifizierungen werden von akkreditierten russischen Prüflaboratorien durchgeführt. Diese Zulassung ist immer erforderlich, wenn Produkte mit einer ATEX-Zulassung nach Russland importiert werden. Die Zulassung basiert auf den gültigen EG-Baumusterprüfbescheinigungen gemäß ATEX95.

Zu dem Verfahren gehört u. U. auch eine Inspektion des Herstellerwerks, sowie eine Musterüberprüfung bestimmter, ausgewählter Produkttypen durch den beauftragten russischen Zertifizierer. Die Laufzeit dieser Zertifikate beträgt drei Jahre und muss vor Ablauf dieser Zeit rechtzeitig zur Verlängerung beantragt werden. Dauer des gesamten Zulassungsverfahrens ca. 3 bis 4 Monate.


ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

РАЗРЕШЕНИЕ

На применение

Оборудование (техническое устройство, материал):
Насосы динамические с радиальным потоком одноступенчатые серий MD/-F,
MX/-F, MDM, MDF-L, EW/-Y.

Код ОКП (ТН ВЭД):

Изготовитель (поставщик): Фирма (Германия).

Основание выдачи разрешения: Техническая документация, заключение
экспертизы промышленной безопасности ООО
Сертификация", сертификат соответствия
ОС АНО от 25.08.2006 г.

Условия применения:

1. Оформление технической документации на поставляемое оборудование в соответствии с требованиями действующих в России правил промышленной безопасности на русском языке.
2. Осуществление монтажа, ввода в действие и эксплуатации оборудования в соответствии с требованиями действующих в России правил промышленной безопасности.
3. Оборудование может использоваться на объектах и производствах, подконтрольных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору.

Срок действия разрешения

Дата выдачи

Статс-секретарь -
заместитель руководителя
К.Л. Чайка



А В 024885

3.5.2 Weißrussland, Ukraine und Kasachstan

Zertifizierungen für Weißrussland

Im Allgemeinen ähnelt der Zertifizierungsprozess für Weißrussland denen der Gemeinschaft unabhängiger Staaten (GUS) und der Russischen Föderation, jedoch bestehen einige Unterschiede, die in Betracht gezogen werden sollten, wenn ein Export nach Weißrussland angestrebt wird, um eine problemlose und möglichst schnelle Einführung von Gütern zu gewährleisten.

Die amtliche Zertifizierungsinstitution von Weißrussland ist die GosPromNadzor. Wie ihr russisches Pendant verleiht diese die Zertifikate auf Grundlage der Expertise akkreditierter Experten nach Abschluss eines Akkreditierungsprozesses. Die Experten bestätigen mit ihrem Gutachten die Übereinstimmung des Exportgutes mit den Regulierungsvorschriften von Weißrussland. Es sind grundsätzlich vor Ort Inspektionen notwendig.

Pflichtzertifikate für Durchflussmessgeräte sind wie in Russland das Metrologie-Zertifikat sowie das EX-Promatomnadzor-Zertifikat, das die russischen Zertifikate GOST-EX und RTN in einem Zertifikat vereinigt.

Zertifizierungen für die Ukraine

Die Regulierungsvorschriften der Ukraine für die Einfuhr ausländischer Produkte gleichen prinzipiell den Bestimmungen der Russischen Föderation (Russland), können sich in Einzelheiten jedoch unterscheiden. Das Pendant zum GOST-R ist das UkrSE-PRO das z. Z. nicht als Pflichtzertifikat für Durchflussmessgeräte gilt. Des Weiteren sind die folgenden Zertifikate ebenso in der Ukraine wie in der Russischen Föderation (Russland) im Einzelfall für die Einfuhr von Durchflussmessgeräten notwendig:

- Metrologie-Zertifikat
- GOST-EX-Zertifikat mit Expertenbeschluss
- DVSC-Zertifizierung (EX-Betriebsgenehmigung)

Der Verfahrensweg in der Ukraine ist hingegen komplizierter und es bedarf eines zusätzlichen Expertenwissens betreffend der nationalen Erlasse und Gesetzgebung, um den Prozess erfolgreich abschließen zu können. Ein weiterer Unterschied ist die Vorgehensweise der akkreditierten Prüfungsinstitute. Größtenteils werden die notwendigen Untersuchungen vor Ort im Unternehmen vorgenommen. Meistens müssen Experten in den Betrieb kommen.

Zertifizierungen für Kasachstan

Die Regulierungsvorschriften in Kasachstan für die Einfuhr ausländischer Produkte gleichen prinzipiell den Bestimmungen der Russischen Föderation (Russland), können sich in Einzelheiten jedoch unterscheiden. Das Pendant zum GOST-R ist das GOST-K. Des weiteren sind folgende Zertifikate ebenso in Kasachstan wie in der Russischen Föderation für die Einfuhr und Vermarktung von Durchflussmessgeräten notwendig:

- GOST-K-Zertifikat: kann u. U. vor Ort durch eigene Handelsvertretungen beschafft werden.
- EX-Inbetriebnahmegenehmigung EX-Permission: vereinigt Gost-EX und RTN entsprechend dem russischen Standard.
- Metrologie-Zertifikat: wird von der Behörde KasInMetr ausgestellt.

Der Verfahrensweg ist hingegen komplizierter und es bedarf eines zusätzlichen Expertenwissens betreffend der nationalen Erlasse/Gesetzgebungen. Auch sind insgesamt höhere Antragskosten zu erwarten. Ein weiterer Unterschied ist die Vorgehensweise der akkreditierten Prüfungsinstitute. Größtenteils werden die notwendigen Untersuchungen vor Ort im Unternehmen vorgenommen. Meistens müssen Experten in den Betrieb kommen.

3.6 SIL - Funktionale Sicherheit

Die Normen IEC 61508 und IEC 61511 bieten Möglichkeiten zur Risikobeurteilung von sicherheitsgerichteten Kreisen. Sie definieren vier Sicherheitsstufen, welche die Maßnahmen zur Risikobeherrschung von Anlagenteilen beschreiben. Um den SIL-Level eines Gerätes zu ermitteln, werden alle Feldgeräte den harten Prüfungsbedingungen und Analysen der IEC unterzogen.

Die Europäische Union setzt mit der EU-Richtlinie 96/82/EU (Seveso II-Richtlinie) die rechtliche Grundlage für das Betreiben von Anlagen mit Gefahrenpotenzial. Die deutsche Umsetzung der Richtlinie 96/82/EU erfolgt durch die Störfallverordnung im Bundes-Immissionsschutzgesetz (12. BImSchV) vom 26. April 2000.

Die Störfallverordnung verwies zur Auslegung von sicherheitsrelevanten PLT-Einrichtungen bis zum 31. Juli 2004 auf die DIN 19250 und 19251, die die Anforderungsklassen AK 1 - 8 beschreiben. Ab dem 1. August verweist die Störfallverordnung auf die DIN EN 61508 sowie die DIN EN 61511, die inhaltlich den Normen IEC 61508 / IEC 61511 entsprechen. Sie definieren vier Sicherheitsstufen (SIL1 bis SIL4), die die Maßnahmen zur Risikobeherrschung von Anlagenteilen beschreiben und nach denen Feldgeräte sowie die Aktorik ausgelegt sein müssen.

Um eine Abschätzung vornehmen zu können, ob ein Gerät für eine Sicherheitskette mit einer bestimmten SIL-Anforderung geeignet ist, werden die Feldgeräte gemeinsam mit einer unabhängigen Institution analysiert und geprüft.

Bei der FMEDA-Prüfung (Failure Mode, Effect and Diagnostics Analysis) wird die Hardware-Struktur der Elektronik untersucht. Zusammen mit der Betrachtung der (elektro-)mechanischen Bauteile können dann die Fehlerraten des Gerätes, z. B. von Durchfluss-Messgeräten, bestimmt werden. Dazu werden im Wesentlichen drei Kenngrößen herangezogen, die sich aus der FMEDA errechnen: die Fehlertoleranz (HFT), der Anteil ungefährlicher Ausfälle (SFF) und die gefährliche Versagenswahrscheinlichkeit (PFD).

Der Software-Entwicklungsprozess bei SIL-zertifizierten Durchfluss-Messgeräten unterliegt der IEC 61508 und geht somit noch über die Anforderungen der IEC 61511 hinaus.

Zusätzlich werden weitere allgemeine Sicherheitsbetrachtungen der Feldgeräte durchgeführt. In den SIL-Konformitätserklärungen, die von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden, um bei der Auswahl geeigneter Geräte für Sicherheitskreise zu unterstützen, bezieht sich die ausgewiesene Klassifizierung auf die jeweils geringste SIL-Einstufung.

Zum sicheren Betrieb einer Anlage werden in einem weiteren Schritt nach den IEC-Regeln immer die gesamten Sicherheitskreise, bestehend aus Sensor/Messumformer, Steuerung und Aktor betrachtet und eine SIL-Einstufung vorgenommen. Vor der Auslegung und Berechnung des Sicherheitskreises wird ein sogenanntes SIL-Assessment durchgeführt, in dem festgestellt wird, welchem Sicherheitsstandard (z. B. SIL2) der Sicherheitskreis zu entsprechen hat.

ABB bietet hierfür eine Software an, die alle Aspekte der Anlagenzertifizierung vom SIL-Assessment bis hin zur Auslegung und Berechnung der Sicherheitskreise gemäß IEC 61508 abdeckt und alle Entscheidungen sowie Berechnungsgrundlagen protokolliert und ablegt.

Für den laufenden Betrieb einer Anlage müssen die Sicherheitskreise außerdem in Bezug auf die Sicherheitsfunktionen regelmäßig getestet und protokolliert werden. Hierzu ist es erforderlich, die einzelnen Testroutinen zu definieren, entsprechend durchzuführen und zu protokollieren. Ein aufwändiger Prozess, der letztendlich Mensch und Umwelt zugute kommt.

Neben einem breiten Portfolio an Instrumentierungsgeräten verfügt ABB über eine Software, welche die in der IEC 61508 vorgeschriebenen Testroutinen und Testergebnisse aller Sicherheitskreise verwaltet und für Statistiken bereitstellt.

3.7 Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG

Einführung

Die EU-Richtlinie für Druckgeräte 97/23/EG (**D**ruck**g**eräte**r**ichtlinie DGRL oder **P**ressure **E**quipment **D**irective PED) gehört zu einer Reihe neu gestalteter harmonisierter EU-Richtlinien zur Beseitigung technischer Handelshemmnisse. Sie stellt gleichzeitig einen Schritt zur Produktharmonisierung der Druckgeräte hinsichtlich Auslegung, Fertigung und Konformitätsbewertung dar. Besondere Bedeutung erlangt dabei die Einhaltung bestimmter Sicherheitsanforderungen.

Die Richtlinie 97/23/EG wurde am 9. Juli 1997 im Amtsblatt der EU (ABL. Nr. L181) veröffentlicht und ist nach der nationalen Umsetzung in allen EU-Mitgliedsstaaten seit 2002 anzuwenden.

Die Einhaltung der Bestimmungen der EU-Richtlinie, die insbesondere für das Inverkehrbringen von Druckgeräten eine Reihe von Änderungen beinhaltet, liegt in der Verantwortung des Herstellers, faktisch besiegelt durch das Anbringen der CE-Kennzeichnung und die Ausstellung der EU-Konformitätserklärung.

Anwendungsbereich

Die Druckgeräte richtlinie gilt für das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Druckgeräten und daraus zusammengeführten Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck von über 0,5 bar. Sie gilt nicht für deren Überwachung und wiederkehrende Prüfungen im Betrieb. In den Anwendungsbereich der Richtlinie fallen Behälter, Rohrleitungen, Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion und druckhaltende Ausrüstungsteile sowie Baugruppen aus mehreren Druckgeräten. Eine Auflistung der nicht in den Anwendungsbereich der Richtlinie fallenden Geräte ist der Richtlinie selbst zu entnehmen.

Grundlegende Sicherheitsanforderungen

Gemäß dem Sicherheitsgedanken der Druckgeräte richtlinie sind die im Anhang I der Richtlinie genannten grundlegenden Sicherheitsanforderungen für Druckgeräte und Baugruppen gleichermaßen bindend. Zudem ist der Hersteller verpflichtet, eine Gefahrenanalyse vorzunehmen, um die mit seinem Gerät verbundenen druckbedingten Gefahren zu ermitteln. Unter Berücksichtigung der Analyse ist das Druckgerät auszulegen und zu bauen. Die grundlegenden Sicherheitsanforderungen sind dabei so zu berücksichtigen, dass dem Stand der Technik sowie technischen und wirtschaftlichen Erwägungen Rechnung getragen wird. Druckgeräte müssen so ausgelegt, hergestellt, geprüft und gegebenenfalls ausgerüstet und installiert sein, dass ihre Sicherheit gewährleistet ist, wenn sie nach den Vorgaben des Herstellers in Betrieb genommen werden.

Folglich dürfen Messgeräte, die unter den Anwendungsbereich der Druckgeräte richtlinie fallen, deren Anforderungen aber nicht erfüllen, nicht in Verkehr gebracht werden.

Konformitätsbewertung

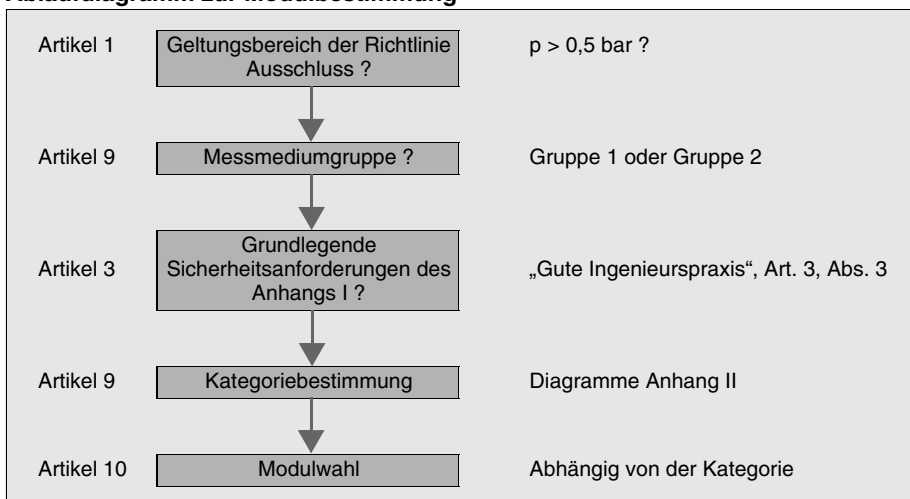
Die Konformität eines Gerätes zur Druckgeräterichtlinie wird durch ein Konformitätsbewertungsverfahren ermittelt, welches unter Verwendung bestimmter Verfahrens-Module bzw. deren Kombination durchzuführen ist. Die Auswahl der zu verwendenden Module ist abhängig von dem produkt- und verwendungsspezifischen Gefahrenpotenzial des Druckgerätes.

In der Druckgeräterichtlinie werden Druckgeräte entsprechend dem zunehmenden Gefahrenpotenzial in die Kategorien I, II, III und IV eingestuft. Maßgeblich für die Einstufung des Gerätes sind neben dem maximal zulässigen Druck ($> 0,5$ bar) und dem druckbeaufschlagten Volumen (bei Behältern) bzw. der Nennweite (bei Rohrleitungen $> DN 25$), auch der physikalische Zustand des Messmediums (Gas, Flüssigkeit, Dampf) und die potenzielle Gefährdung durch das Messmedium. Fällt das Druckgerät in den Anwendungsbereich der Richtlinie und in eine dieser Kategorien ist somit eine Vorauswahl möglicher Mindest-Module (bzw. Kombinationen) gegeben. Der Hersteller hat allerdings auch die Möglichkeit, sich für eine höhere Kategorie zu entscheiden, um ein für sein Fertigungssystem besser geeignetes Modul anwenden zu können.

Druckgeräte, die nicht in eine der Kategorien I - IV fallen, müssen nicht die Anforderungen eines bestimmten Moduls erfüllen, sondern haben den Kriterien der „Guten Ingenieurspraxis“ zu genügen, sofern sie nicht außerhalb dieser Richtlinie liegen (zum Beispiel: $p < 0,5$ bar).

Die Bestimmung des erforderlichen Moduls zur Konformitätsbewertung für das jeweilige Druckgerät kann mittels der im Anhang II der Richtlinie dargestellten Konformitätsbewertungsdiagramme erfolgen.

Ablaufdiagramm zur Modulbestimmung



Kl. I	Modul A Interne Fertigungskontrolle		
	Modul A1 Interne Fertigungskontrolle mit Überwachung der Abnahme		
Kategorie II	Modul D1 Qualitätssicherung Produktion		
	Modul E1 Qualitätssicherung Produkt		
Kategorie III	Modul D Qualitätssicherung Produktion	+	Modul B1 EG-Entwurfsprüfung
	Modul F Prüfung der Produkte	+	Modul B1 EG-Entwurfsprüfung
	Modul E Qualitätssicherung Produkt	+	Modul B EG-Baumusterprüfung
	Modul C1 Konformität mit der Bauart	+	Modul B EG-Baumusterprüfung
	Modul H Umfassende Qualitätssicherung		

Überwachung durch unabhängige Stellen

Druckgeräte der Kategorie I unterliegen hinsichtlich Auslegung, Fertigung und Konformitätsbewertung der alleinigen Verantwortung des Herstellers. Bei Einstufung eines Druckgerätes in eine höhere Kategorie aufgrund des höheren Gefahrenpotenzials müssen behördlich akkreditierte Stellen (sogenannte „Benannte Stellen“, anerkannte unabhängige Prüfstellen oder Betreiberprüfstellen) in unterschiedlicher Weise und Umfang in diesen Prozess eingebunden werden.

Kennzeichnung und Konformitätserklärung

Druckgeräte, die den Anforderungen und Bestimmungen der Druckgeräte Richtlinie entsprechen, erhalten aufgrund ihrer Konformität eine CE-Kennzeichnung am Gerät, ggf. mit der Nummer der Benannten Stelle. Zudem dokumentiert der Hersteller durch eine Konformitätserklärung die Konformität des Druckgerätes mit der EU-Richtlinie.

Umsetzung der Druckgeräte-Richtlinie bei ABB

ABB setzt die EU-Richtlinie für Druckgeräte 97/23/EG u. a. für seine Durchflussmessgeräte konsequent um und ist daher berechtigt, entsprechende Konformitätserklärungen zu erstellen. Durchflussmessgeräte fallen als druckhaltende Ausrüstungsteile in den Anwendungsbereich der Druckgeräterichtlinie.

ABB stuft seine Durchflussmessgeräte unabhängig von dem spezifischen Anwendungsfall generell in die Kategorie III mit dem für Rohrleitungskomponenten größtmöglichen Gefahrenpotenzial ein. Somit ist gewährleistet, dass maximale Sicherheitsanforderungen bei der Auslegung, Fertigung und im Konformitätsbewertungsverfahren berücksichtigt werden. Die formal nicht in die Druckgeräterichtlinie fallenden Durchflussmessgeräte der Nennweiten DN 25 und kleiner erfüllen ebenfalls die grundlegenden Anforderungen der Druckgerichterlinie.

Beispiel zur Einordnung

Rohrleitung DN 100, PS = 32 bar, TS = 180 °C, Flüssigkeit der Messmediumgruppe 1, Dampfdruck > 0,5 bar über Atmosphärendruck.

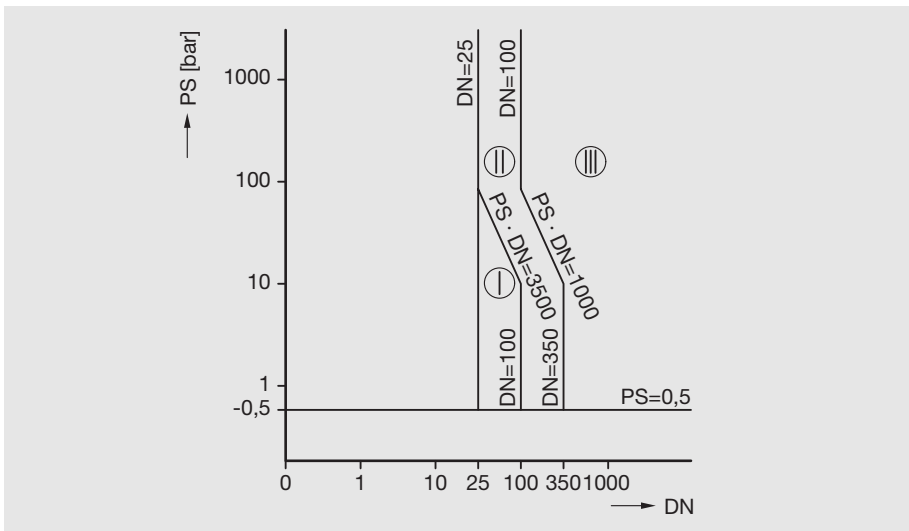


Bild 3-2:

3.8 Korrosion

Unter Korrosion versteht man die Zerstörung von Werkstoffen durch chemische Reaktionen. In der Regel grenzt man den Begriff ein auf die Veränderung eines Metallgefüges durch wässrige Lösungen. Das ist die elektrolytische Korrosion, deren bekanntestes Beispiel die Rostbildung ist.

Metalle mit ihren freien Elektronen sind gute elektrische Leiter. Die Leitfähigkeit wässriger Korrosionsmedien ist geringer, den Stromtransport übernehmen Ionen. Beim Korrosionsvorgang fließt ein positiver Strom in die Flüssigkeit. Dabei gehen positiv geladene Metallionen in das Korrosionsmedium. Die Intensität dieses Vorgangs ist von der Ionenbeweglichkeit abhängig, die mit steigender Temperatur zunimmt und bei steigender Konzentration nachlässt. Auch das Spannungsgefälle fördert die Korrosion. Deshalb sind die in der elektrochemischen Spannungsreihe negativ angesiedelten unedlen Metalle wie Aluminium und Eisen stark betroffen. Resistenzproblemen geht man durch den Einsatz edler Metalle aus dem Wege.

Stoffe der organischen Chemie, Kunststoffe, zeigen ebenfalls Zerstörungseigenschaften, wenn sie mit wässrigen Lösungen zusammenkommen. Hier sind es vorwiegend Substitutionsvorgänge, die den Stoff verändern. Unter Substitution versteht man den Ersatz eines Atoms oder einer Atomgruppe durch ein anderes Atom oder eine andere Atomgruppe. Es entsteht ein Stoff mit neuen chemischen und physikalischen Eigenschaften. Die Resistenz gegenüber der Lösung kann sich verschlechtern. Bei der großen Zahl organischer Stoffe ist man bei der Beurteilung der Eigenschaften auf die Erfahrungen der Hersteller angewiesen, die in Resistenzlisten zusammengefasst sind.

Die Beständigkeitstabelle (siehe Kapitel 8) zeigt das Verhalten der bei ABB verwendeten Werkstoffe wenn sie mit chemischen Produkten in Berührung kommen.

3.9 Datenübertragung

Die Hauptaufgabe des dem Messwertaufnehmer nachgeschalteten Messumformers ist die Erzeugung eines dem Messwert proportionalen Ausgangssignals, das in nachgeschalteten Sekundärgeräten (z. B.: Anzeiger, Schreiber, Regler) verarbeitet werden kann. Weil diese Sekundärgeräte universell eingesetzt werden, müssen die Ausgangssignale einheitlich ausgelegt sein.

Mit den so genannten intelligenten Messumformern sind die elektrisch arbeitenden Datensysteme in den Vordergrund gerückt. Noch wird die analoge Signalübertragung bevorzugt.

Die digitale Signalübertragung bietet demgegenüber einige Vorteile:

- Die Zahl der elektrischen Verbindungsleitungen sinkt erheblich, weil nicht jeder Signalausgang eine eigene Leitung benötigt.
- Die Kommunikation beschränkt sich nicht nur auf die Weitergabe des Messsignals. Der Datenaustausch erfolgt in beiden Richtungen, das heißt, dass die Abruf- und Einstellparameter von außen beeinflusst werden können. Eine Fehlerdiagnose ist jederzeit möglich.
- Das Gesamtsystem ist ohne viel Leistungsaufwand erweiterungsfähig.
- Digitale Signale sind auf dem Leitungsweg gegenüber Fremdstörungen unempfindlich.

3.9.1 Pneumatisches Einheitssignal

Geräte und Anlagen mit pneumatischer Energieversorgung werden nur noch selten verwendet. Gründe für den Rückgang sind die eingeschränkten Möglichkeiten bei der Digitaltechnik, der große Aufwand bei der Erzeugung der Druckenergie und die Installationskosten.

3.9.2 Analoges elektrisches Einheitssignal

Das am meisten benutzte elektrische Einheitssignal ist der Gleichstrom von 0...20 mA oder 4...20 mA. Man spricht von einem eingepprägten Gleichstrom, und zwar deshalb, weil er bis zu einer Maximalbürde vom elektrischen Widerstand nicht beeinflusst wird. Bei den Durchflussmessumformern liegt die zulässige Bürde bei 750 bzw. 1000 Ω .

3.9.3 Schaltende Ausgänge

Man unterscheidet zwei Versionen von Schaltausgängen. Zur Statussignalisierung dient der Dauerkontakt, mit dem Alarmzustände oder das Erreichen von Grenzwerten gemeldet werden.

Die Alarmmeldung erfolgt im Gefahrenfall, z. B. bei Geräteausfall oder bei kritischen Messwerten. Der Grenzwertkontakt ist steuerungstechnisch interessant, denn sein Zustand veranlasst möglicherweise Änderungen im Prozessverlauf. Als Beispiel seien hier der Leerlaufkontakt, die Meldung für Fließrichtungsumkehr oder der Max-Min-Zustand genannt.

Eine grundsätzlich andere Funktion hat der Impulsausgang. Die erzeugten Impulse sind volumenproportionale Signale, die in einem Zählwerk integriert werden können. Auf diese Weise wird aus dem Durchfluss- ein Volumensignal. Das Zählwerk zeigt das Gesamtvolumen an, das während eines bestimmten Zeitraums durch den Durchflussmesser geflossen ist.

Elektrisch gibt es mehrere Möglichkeiten, schaltende Ausgänge zu realisieren. Passive Ausgänge sind Relaiskontakte oder Optokopplerschalter. Aktive Ausgänge sind Strom- oder Spannungsimpulse.

3.9.4 HART-Protokoll

Das weltweit standardisierte analoge Signal für die Messtechnik ist 4...20 mA. Da dieses Signal nur einen Parameter bzw. Messwert übertragen kann, hat man ein System geschaffen, mit dem eine überlagerte Wechselspannung zusätzliche Informationen weitergibt, das HART-Kommunikationsprotokoll (Highway Addressable Transducer). Dieses inzwischen sehr weit verbreitete Digitalsignal ermöglicht eine bequeme und leistungsfähige Parametrierung von intelligenten Messgeräten. Darüber hinaus können gerätespezifische Diagnosewerte gelesen werden, die Aufschluss über die Gesundheit des Gerätes geben, aber auch eine vorhersagbare Wartung ermöglichen. Auch eine Überwachung unterschiedlichster Geräteparameter ist möglich.

Die Parametrierung und Überwachung von Messgeräten kann sehr einfach und kostengünstig mit den ABB-Produkten des skalierbaren Gerätemanagements, Asset Vision vorgenommen werden. Hierbei werden die Gerätemanagement- und Integrations-technologien FDT/DTM und EDD unterstützt.

Basis der HART-Kommunikation ist das FSK-Verfahren (Frequency-Shift-Keying), bei dem die beiden Digitalwerte logisch 0 und logisch 1 durch Frequenzen von 1200 Hz und 2200 Hz ausgedrückt werden. Weil der Signalmittelwert der Schwingung Null ist, beeinträchtigt die digitale Kommunikation ein eventuelles Analogsignal nicht.

Ein so genannter HART-Master sendet HART-Kommandos aus, welche das Lesen oder Schreiben von Parametern eines intelligenten Feldgerätes auslösen. Der HART-Standard unterscheidet hierbei zwischen Universal-Kommandos und Common-Practice-Kommandos welche von jedem HART-konformen Gerät unterstützt werden müssen, sowie herstellerspezifischen Kommandos, welche spezielle Parameter des Gerätetyps adressieren.

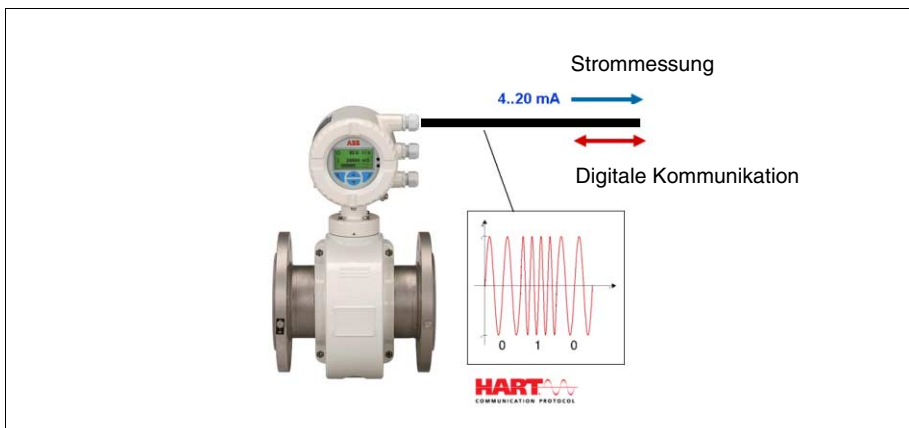


Bild 3-3: FSK-Verfahren: 4...20 mA und digitale Kommunikation gleichzeitig

Grundsätzlich werden HART-Geräte mittels I/O-Karten, HART-Multiplexern oder sogenannten Remote I/O-Einheiten (siehe Kapitel 3.9.6) mit der Prozessleitebene verbunden. Die Prozessleitebene hat somit die Möglichkeit das analoge Signal, aber auch die digitalen Fähigkeiten des Feldgerätes, für die weitere Verarbeitung zu verwenden.

Zur temporären Diagnose oder Parametrierung von Feldgeräten ist es zudem möglich, einen weiteren HART-Master mit dem Gerät zu verbinden (beispielsweise ein HART-Modem, verbunden mit einem tragbaren Computer oder ein HART Hand Held Terminal oder PDA-Kleinstcomputer). Diese Geräte können an beliebiger Stelle in die 4...20 mA-Leitung eingeschleift werden.

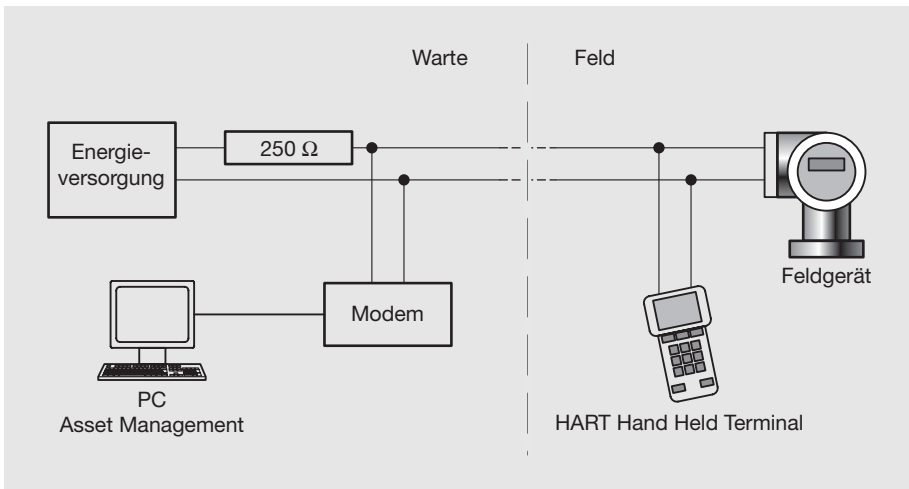


Bild 3-4: Möglichkeiten der HART-Kommunikation

Völlig neue Möglichkeiten eröffnet die Weiterentwicklung des HART-Standards, welcher nun auch drahtlose Übertragung von HART-Informationen erlaubt: Wireless HART. WirelessHART ist die erste standardisierte drahtlose Kommunikation in der Prozessautomation. Durch den Wegfall des Anschlusskabels steht bei dieser Variante natürlich nur das digitale Parameterspektrum zur Verfügung. Das analoge Messsignal ist nicht verfügbar.

Dafür erlaubt die digitale, drahtlose Kommunikation von Parameterwerten die Einsparung von Verkabelung und damit die sehr einfache und kostengünstige Installation zusätzlicher Diagnose-Messstellen. Außerdem können Asset Management-Systeme, wie beispielsweise Asset Vision Professional von ABB, parallel zu Leitsystemen betrieben werden, ohne die bestehende Verkabelung ändern zu müssen. Es sind maßgeblich zwei WirelessHART-Lösungen verfügbar:

- WirelessHART-Adapter zum Nachrüsten von existierenden HART-Geräten
- Eigenversorgte WirelessHART-Transmitter.

Diese Wireless-Lösungen kommunizieren mit einem so genannten WirelessHART-Gateway, dem zentralen Element der drahtlosen HART-Übertragung. Der Standard definiert neben dem Protokoll als solches, auch zahlreiche Sicherheitsmechanismen, die das drahtlose Signal vor dem Abhören schützen und die Verfügbarkeit sicherstellen.

3.9.5 Feldbus in der Prozessautomatisierung

Feldbussysteme dienen als Kommunikationsmittel zum seriellen Datenaustausch zwischen dezentralen Geräten der Feldebene und der Eingabeperipherie der Prozessleitebene. Für die Prozessdatenerfassung in der Feldebene kommen neben intelligenten Messgeräten und Stellgeräten mit Direktanschluss an den Feldbus auch intelligente „Remote I/O-Einheiten“ als Interface-Systeme für konventionelle Feldgeräte zum Einsatz.

Über nur zwei Drähte können alle relevanten Signale wie Ein- und Ausgabedaten, Parameter, Diagnoseinformationen, Konfigurierungsvorhaben und für einen weiteren Anwendungsbereich die Betriebsenergie übertragen werden. Hat ein Feldgerät einen hohen Energiebedarf, so wird die Versorgung für dieses Gerät getrennt von dem „Signalbus“ geführt (der so genannte Vierleiter gegenüber dem Zweileiter).

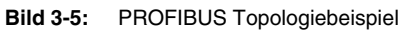
Durch die eindeutige Festlegung des Kommunikationsprotokolls ist es möglich, den Feldbus für alle Anbieter, die das Protokoll für ihre Geräte nutzen, offen zu halten. Dadurch wird erreicht, dass die heute übliche Austauschbarkeit, ermöglicht durch das 4...20 mA-Einheitssignal, auch für die Feldbustechnologie erhalten bleibt.

Neben der Tatsache, dass Feldbusse den Verkabelungsaufwand erheblich senken, sind noch weitere Vorteile dieser Technologie offensichtlich. Jeder Messwert wird mit einem Status übertragen, einem Indikator für die Vertrauenswürdigkeit des Wertes und ein Baustein der Diagnosefähigkeiten von Feldbus-Kommunikationssystemen.

Standardisierte Diagnose- und gerätespezifische Diagnoseinformationen stehen für Geräte und Kommunikationskomponenten zur Verfügung. Zudem ist die Auflösung des Messwertes sehr hoch, da es sich um einen rein digitalen Wert handelt. Unterschiedliche Übertragungsgeschwindigkeiten und Konfigurationsmöglichkeiten der Kommunikation lassen eine perfekte Anpassung von Messung und Übertragung an die Notwendigkeiten des Prozesses zu.

Feldbus-Technologien sind heute, nach vielen Jahren erfolgreichem Einsatz in Industrieapplikationen, leistungsfähige, sichere und kostensparende Alternativen zu konventionellen Installationen mit erheblichem Informations-Mehrwert.

PROFIBUS ist ein herstellerunabhängiger, offener, ältester und am weitesten verbreiteter Feldbusstandard für Anwendungen in der Fertigungs-, Prozess- und Gebäudeautomatisierung.



PROFIBUS DP-Kommunikation: der Bus für die dezentrale Peripherie

219

PROFIBUS DP/V1 ermöglicht darüber hinaus azyklische Kommunikation und damit den Einsatz von FDT/DTM oder EDD-Werkzeugen zur Parametrierung und Beobachtung von Geräten.

PROFIBUS PA-Kommunikation: Erweiterung für die Prozessautomation

PROFIBUS PA wurde speziell für die Verfahrenstechnik entwickelt. Eigensicherheit und Speisung der Feldgeräte über die Zweidraht-Busleitung ist möglich und entspricht dem IEC 61158-2 Standard (Manchester Bus Powered – MBP Physik). Über diese Variante erfolgt daher die Kommunikation mit Messgeräten in Zweileitertechnik und Aktoren im Feld. PROFIBUS PA verwendet ein erweitertes DP-Protokoll. Die Geräteeigenschaften und ihr Verhalten werden über sogenannte Profile beschrieben und im Standard festgelegt. Durch Kopplerbaugruppen (Segmentkoppler, Gateways, Linking Devices) werden die PA-Buslinien in das PROFIBUS DP-Netzwerk eingebunden. Damit ist sichergestellt, dass über das PROFIBUS-Gesamtsystem (DP + PA Profileräte) alle Informationen in einem durchgängigem Netzwerk zur Verfügung stehen.

PROFINET

Mit diesem zusätzlichen Kommunikationsprotokoll der PROFIBUS Familie ist man sehr erfolgreich in das industrielle Ethernet-Zeitalter gestartet. Die Technologie kann auf unterschiedliche Weise genutzt werden:

- Einsatz als Bussystem (Nutzung heute hauptsächlich in der Fertigungsautomation)
- Einsatz als so genanntes Backbone-Netzwerk zur Bildung eines heterogenen Netzwerkes mit einheitlicher Basiskommunikation (Anbindung der verschiedenen Netzwerktypen über Proxyserver).

Bislang hat PROFINET noch keine nennenswerte Bedeutung in der Prozessautomation gewonnen.

3.9.6 FOUNDATION Fieldbus

Diese vor etwa 10 Jahren eingeführte Feldbustechnologie, die hauptsächlich auf den amerikanischen Kontinenten anzutreffen ist, kennt zwei Varianten:

- HSE - High Speed Ethernet. Diese Variante wird bislang eher selten in der industriellen Umgebung eingesetzt. Lediglich Controller und Linking Devices nutzen dieses Protokoll.
- FF-H1. Das Protokoll nutzt ebenso wie das PROFIBUS PA-Profil die MBP-Physik und erlaubt es somit, Geräte direkt über das Buskabel zu versorgen. Charakteristisch für H1 ist die Fähigkeit, einfache Teile einer Steuerungs-Applikation von den Feldgeräten selbst abarbeiten zu lassen („Control in the field“). Die Intelligenz des Netzwerkes kann somit teilweise in die Feldebene verlagert werden. Diese Möglichkeit erfordert, dass das H1-Protokoll deterministisch arbeitet. Ebenfalls typisch für FOUNDATION Fieldbus sind Alarmer, die mit Zeitstempelung gesendet werden.

3.10 Kalibrierung und Eichung

3.10.1 Warum wird kalibriert?

Im Unternehmen ergibt sich die Notwendigkeit der konsequenten Rückführung von Prüfmitteln auf nationale Normale durch Kalibrierung aus der zunehmenden nationalen und internationalen Arbeitsteilung und der damit verbundenen Forderung nach Austauschbarkeit von Teilprodukten: Zulieferunternehmen, die Produkte herstellen, und Abnehmer, die diese mit anderen Teilen montieren, müssen mit dem „gleichen Maß“ messen.

Zu den technischen Gründen kommen jedoch auch juristische Gesichtspunkte. Einschlägige Gesetze und Vorschriften sind ebenso zu beachten wie die vertraglichen Vereinbarungen gegenüber dem Käufer des Produktes (Gewährleistung für die Qualität des Produktes) und die Verpflichtung, nur Produkte in den Verkehr zu bringen, deren Sicherheit bei bestimmungsgemäßem Gebrauch nicht durch Fehler beeinträchtigt ist. Soweit verbindliche Forderungen zur Genauigkeit von Messgeräten vereinbart wurden, bedeutet eine Nichterfüllung dieser Forderungen das Fehlen einer zugesicherten Eigenschaft.

Der Nachweis der Auswahl adäquater Prüfmittel und ihrer einwandfreien Funktion bei der Prüfmittelüberwachung im Rahmen der Produkthaftung ist von großer Bedeutung, weil eine systematische und vollständig dokumentierte Prüfmittelüberwachung in Verbindung mit dem lückenlosen Nachweis des zweckentsprechenden Einsatzes dieser Prüfmittel für einen ggf. erforderlichen Entlastungsnachweis unerlässlich ist.

3.10.2 Begriffe und Definitionen

Messgerät

Gerät, das allein oder in Verbindung mit zusätzlichen Einrichtungen für Messungen gebraucht werden soll.

Normal (Referenz)

Maßverkörperung, Messgerät, Referenzmaterial oder Messeinrichtung zum Zweck, eine Einheit oder einen oder mehrere Größenwerte festzulegen, zu verkörpern, zu bewahren oder zu reproduzieren.

Messung

Gesamtheit der Tätigkeiten zur Ermittlung eines Größenwertes (dargestellt als Produkt aus Zahl und Einheit, z. B. $1,23 \text{ m}^3/\text{h}$).

Kalibrierung

Bedeutet die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den angegebenen Werten eines Messgerätes und den durch Normale festgelegten Werten unter vorgegebenen Bedingungen.

Justierung

Justieren im Bereich der Messtechnik heißt, ein Messgerät, so einzustellen oder abzugleichen, dass die Messabweichungen möglichst klein werden.

Eichung

Prüfung und Kennzeichnung und/oder Ausgabe eines Eichscheines eines Messgerätes, in dem festgestellt und bestätigt wird, dass dieses den gesetzlichen Vorgaben entspricht. Dadurch wird beurkundet, das zu erwarten ist, dass dieses Messgerät bei einer Handhabung entsprechend den Regeln der Technik, die Messwerte innerhalb der Fehlergrenzen (innerhalb der Nacheichfrist) liegen.

Messunsicherheit

Dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der (Mess-)Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden können.

Rückverfolgbarkeit

Eigenschaften eines Messgerätes (oder des Wertes eines Normals), durch eine ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen mit angegebenen Messunsicherheiten auf geeignete Normale, im allgemeinen internationale oder nationale Normale, bezogen zu sein.

3.10.3 Methoden der Durchflussskalibrierung

Die gebräuchlichen Messverfahren sind:

Volumetrische Methode

Verfahren zur Bestimmung des Volumendurchflusses, bei dem das Volumen der Flüssigkeit mit einem kalibrierten Volumenmessbehälter (Eichkolben) bestimmt wird und mit der Zeit für die Befüllung gemessen werden.

Gravimetrische Methode

Diese Methode entspricht der volumetrischen Methode. Hierbei wird jedoch das Volumen der Flüssigkeit durch Wägung unter Berücksichtigung der Dichte und der verdrängten Luftmenge ermittelt.

Bei beiden Methoden kann sowohl mit stehendem START-STOPP-Betrieb (Öffnen und Schließen einer Absperrereinrichtung) als auch mit fliegendem START-STOPP-Betrieb (Bedienen einer Umschaltvorrichtung) gearbeitet werden. Weiterhin unterscheidet man zwischen einem statischen und einem dynamischen Verfahren, wobei bei letzterem keine Umschaltvorrichtung erforderlich ist.

Kritische Düsen

Diese werden als hochgenaue Referenzgeräte bei der Kalibrierung von Gasdurchflüssen eingesetzt. Bei dieser Methode wird der Gasdurchfluss soweit beschleunigt, dass er im engsten Querschnitt der Düse Schallgeschwindigkeit erreicht. Die Einstellung dieses kritischen Strömungszustandes bewirkt, dass der Durchfluss auf einen konstanten Wert begrenzt wird.

Vergleichsmethode (MASTER-Kalibrierung)

Bei dieser in der Industrie gebräuchlichsten Kalibriermethode durchströmt das Kalibriermedium das zu kalibrierende Messgerät und eine oder mehrere weitere Durchflussmesseinrichtungen (Master), die zuvor kalibriert wurden.

Methode mittels Rohrprüfstrecke

Das Referenzgerät ist ein volumetrisches Messgerät, welches aus einem Rohrabschnitt mit konstantem Querschnitt und bekanntem Volumen besteht. Der Durchfluss wird von der Zeit eines Kolbens abgeleitet, die er benötigt, um frei oder angetrieben die Strecke durch den Rohrabschnitt zurückzulegen.

In Prüfständen mit höchsten Anforderungen bezüglich der Genauigkeit, kommen bei Flüssigkeitskalibrierungen hauptsächlich gravimetrische Kalibrierverfahren, bei Gaskalibrierungen solche mit kritischen Düsen zur Anwendung.

3.10.4 Prüfstand für Flüssigkeitsdurchfluss

Beim Aufbau einer Durchflussmesseinrichtung, wie z. B. nach der gravimetrischen Methode, ist eine Reihe von Bedingungen gemäß DIN EN 29104 zu erfüllen:

- Strömung muss stationär sein.
- Die Strömung in der störungsfreien Einlaufstrecke muss axialsymmetrisch und frei von Drall und Pulsation sein.
- Die Referenz-Durchflussmessgeräte oder die kalibrierten Prüfeinrichtungen zum Messen des Durchflusses oder der Menge müssen den Anforderungen nach ISO 4185 und ISO 8316 entsprechen.
- Der Durchflussmessbereich des Referenz-Durchflussmessgerätes oder des Kalibriernormals muss ebenso groß sein, wie der Bereich des zu prüfenden Durchflussmessgerätes. Die Fehlergrenze des Referenznormals soll nicht größer sein als ein Drittel der Fehlergrenze des zu prüfenden Gerätes.

- Die Messeinrichtung und die Referenznormale müssen ausführlich beschrieben werden, einschließlich der Rückführbarkeit des Referenznormals und der Unsicherheit des Messaufbaus. Die Berechnung der Unsicherheit der Durchflussmessung muss ISO 5168, ISO 7066-1 und ISO 7066-2 entsprechen.
- Der Messwertaufnehmer muss zwischen einer geraden, störungsfreien Einlaufstrecke von mindestens $10 \times D$ und einer ungestörten Auslaufstrecke von mindestens $5 \times D$ eingebaut werden. Wenn drallfreie Geschwindigkeitsprofile gefordert werden, müssen Strömungsgleichrichter eingebaut werden.
- Der Messwertaufnehmer muss während der Messung vollständig mit Flüssigkeit gefüllt sein.

Darüber hinaus müssen die physikalischen Eigenschaften der Messmedien, zum Beispiel Dichte und Viskosität beachtet werden. Über die Reynoldszahl sind Analogierechnungen möglich, die das unterschiedliche Strömungsverhalten berücksichtigen. Selbstverständlich haben auch die Hilfsmesseinrichtungen am Kalibrierprüfstand eine Genauigkeit, die so gut ist, dass diese Messungen nur geringen Einfluss auf das Durchflussmessergebnis haben.

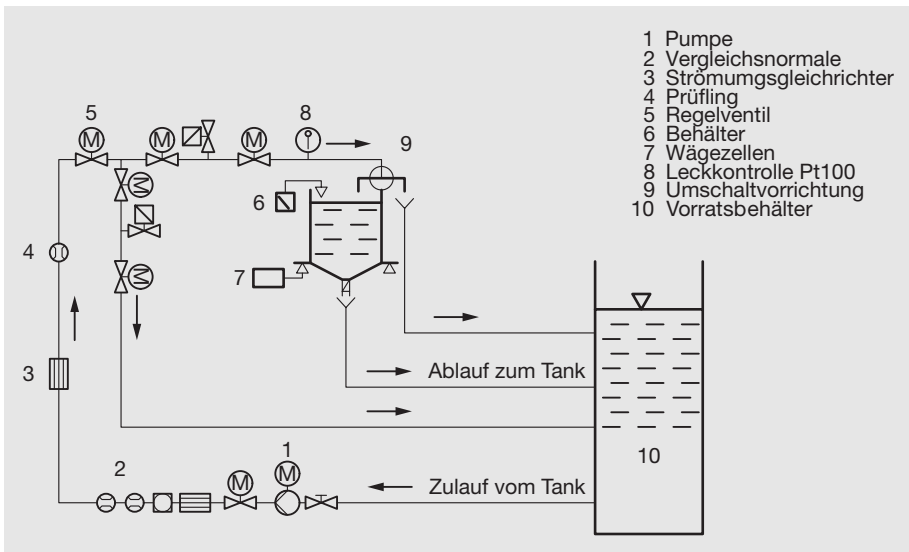


Bild 3-6: Prüfstand mittels gravimetrischer Kalibriermethode und Vergleichsverfahren

Bei dem in Bild 3-6 prinzipiell dargestellten Flüssigkeitsprüfstand durchströmt das Wasser zwei Vergleichsnormale (2), die sich gegenseitig überwachen. Das zu kalibrierende Durchflussmessgerät (3) befindet sich in einer langen ungestörten Rohrstrecke. Das Regelventil (4) und die Pumpe (1) bestimmen den eingestellten Durchfluss. Das Wasser kann danach entweder direkt zum Vorratsbehälter (8) zurückgeführt werden

oder mit Hilfe der Umschaltvorrichtung (7) in den Behälter (5) geleitet werden, wo seine Masse bestimmt wird. Die Wägeeinrichtung (6) selbst wird mit Hilfe von Gewichtstücken in regelmäßigen Abständen durch das Eichamt kalibriert.

3.10.5 Prüfstand für Gasdurchfluss

Messungen bei Gasen werden zu einem großen Teil nach dem Wirkdruckverfahren durchgeführt. Der einfache Aufbau ermöglicht die leichte Erstellung und Berechnung einer Durchflussmesseinrichtung für den speziellen Einsatzfall unter Verwendung genormter Blenden, Düsen oder Venturi-Rohre.



Bild 3-7: Kalibrieranlage für Gas-Durchflussmessgeräte

Im Kalibrierlabor von ABB werden zwei Prüfstände betrieben, welche nach dem Prinzip von überkritisch betriebenen Laval-Düsen arbeiten. Sie arbeiten im Saugbetrieb, wobei als Messmedium Luft unter atmosphärischen Bedingungen aus dem klimatisierten Kalibrierraum angesaugt wird. Der Luftdurchfluss durch die Düse wird durch Saugen so weit erhöht, bis sich im Düsenhals Schallgeschwindigkeit einstellt. Das bei Erreichen der Schallgeschwindigkeit herrschende Druckverhältnis über der Düse wird kritisches Druckverhältnis genannt. Ein weiteres Absenken des Druckes auf der Saugseite bringt keine Veränderung des Durchflusses mehr. Eine stabile Strömung ist eingestellt.

Jede Kalibrieranlage hat zwei Prüfkammern, an welche je nach Nennweite der Prüfling mit erforderlichen Ein-/Auslaufstrecken adaptiert werden kann. Die Prüfkammern führen zu einem Sammelbehälter, an den auch die Einlaufstrecken der Düsen angeflanscht sind. Die Auslaufstrecken sind an einem zweiten Sammelbehälter angeflanscht. Die beiden Sammelbehälter mit den zwischengeflanschten Düsenstrecken sind auf einer stabilen Rahmenkonstruktion aufgebaut. Von dem zweiten Sammel-

behälter zweigt eine Rohrleitung in die Gebläsestation ab. Dort sind drei Wälzkolben-gebläse installiert, über welche die Versorgung der Kalibrieranlagen erfolgt. Die beiden Prüfstände arbeiten weitgehend unabhängig voneinander, die Durchflussbereiche sind überlappend ausgelegt.

Beide Anlagen bestehen aus bis zu 10 Düsenstrecken, die jeweils einen konstanten Massedurchfluss darstellen. Durch Messung und Regelung des Verhältnisses der Drücke vor und hinter den Düsen wird dafür gesorgt, dass die Düsen stets überkritisch betrieben werden. Mittels Temperatur- und Druckmessung des Messmediums vor jeder Düse, sowie einer Feuchtemessung im Kalibrierraum, werden die bekannten Normwerte der Düsen auf die tatsächlichen Düsenwerte bei Kalibrierbedingungen umgerechnet.

Der getrennte Aufbau der einzelnen Düsenstrecken stellt sicher, dass sich die Düsen nicht gegenseitig beeinflussen. Mit Absperrklappen können die Zuleitung von der Gebläsestation, die beiden Prüfkammerstrecken sowie die einzelnen Düsenstrecken geschaltet werden. Bei den Düsenstrecken besteht die Möglichkeit, diese einzeln oder als Kombination von maximal drei Strecken zu schalten. Dadurch lassen sich eng abgestufte Kalibrierpunkte realisieren.

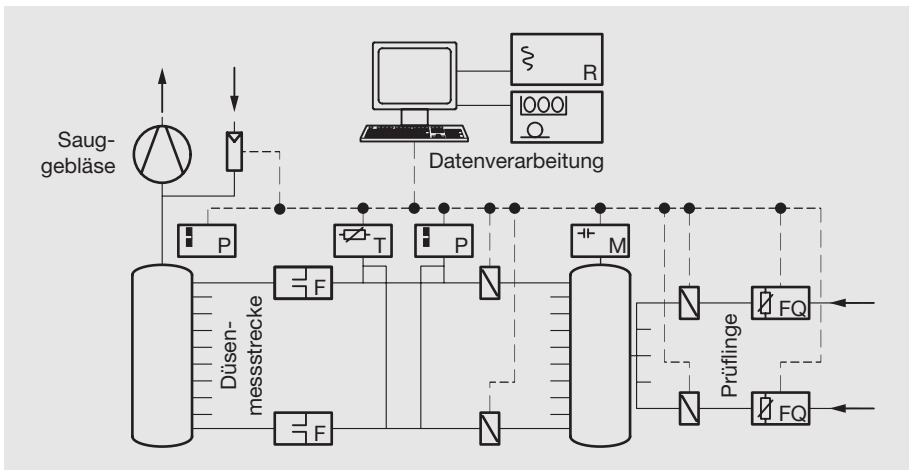


Bild 3-8: Prinzipieller Aufbau des Prüfstandes

3.10.6 Zulassungen der Prüfstände und Produkte

DKD-Akkreditierung

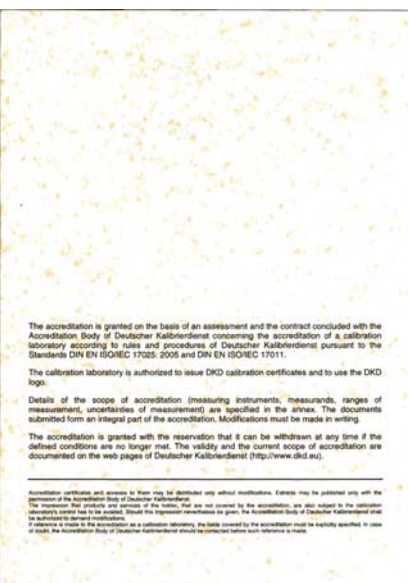
ABB ist Träger der DKD-Kalibrierlaboratorien für Durchflussmessgrößen DKD-K-05707 und DKD-K-18101. Diese Kalibrierlaboratorien werden von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS, ehemals DKD) akkreditiert und überwacht. Die DAkkS wurde durch die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das BMWi, gegründet. Die ausgestellten DKD-Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von den Normreihen DIN EN ISO 9000 und DIN EN ISO 17025 gefordert werden. Kalibrierungen durch DKD-Laboratorien geben dem Anwender Sicherheit für die Verlässlichkeit von Messergebnissen, erhöhen das Vertrauen der Kunden und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem nationalen und internationalen Markt und dienen als messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen von Qualitätssicherungsmassnahmen. Sie sind die messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen des Qualitätsmanagements.

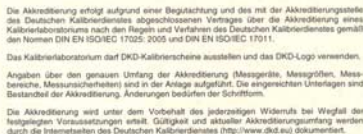
Im Zuge der Globalisierung ist die internationale Anerkennung dieser Kalibrierscheine von zunehmender Wichtigkeit. In Europa ist dieses über ein Multilaterales Abkommen (MLA) der European co-operation for Accreditation (EA), weltweit durch den Zusammenschluss in der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) geregelt. DKD-Kalibrierscheine werden von den Unterzeichnerstaaten dieser Abkommen anerkannt.



Das Kalorienabstrichsystem darf nicht als Kalorienabstrichsystem bezeichnet werden und das OKB-Logo verwenden.

... ..



**DKD**

Anlage 06 zur Akkreditierungsurkunde des Kalibrierlaboratoriums

DKD-K-06701

[illegible]

Leiter:	Dipl.-Ing. (FH) Andreas Schüßler
Stellvertreter:	Dipl.-Ing. Jürgen Perlich Michael Halica Klaus Zwergel Michael Anfori
Akкредиert seit:	1987-05-26

[illegible]

¹⁾ Die meisten angegebenen Messunsicherheiten sind nach DKD-3 (EA-402) festgelegt. Diese sind u.a. ebenfalls Masse und chemische Zusammensetzung mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % und haben, sofern nichts anderes angegeben ist, den Erweiterungsfaktor $k = 2$. Messunsicherheiten ohne Einheitsangabe sind auf das Messwert bezogene Relativwerte, sofern nichts anderes vermerkt ist.

¹⁰ Die kleinsten angebotenen Messunsicherheiten sind nach DIN EN ISO 9001 festgelegt. Diese sind exaktive Messunsicherheiten mit einer Überdeckungsrate von 95 %, und haben, sofern nichts anderes angegeben ist, den Erweiterungsfaktor $k = 2$. Messunsicherheiten ohne Einheitsangabe sind auf den Messwert bezogene Relativwerte, sofern nichts anderes vermerkt ist.

Bild 3-11:



The accreditation is granted on the basis of an assessment and the contract concluded with the Accreditation Body of Deutscher Kalibrierdienst concerning the accreditation of a calibration laboratory according to rules and procedures of Deutscher Kalibrierdienst pursuant to the Standards DIN EN ISO/IEC 17025: 2005 and DIN EN ISO/IEC 17011.

The calibration laboratory is authorized to issue DKD calibration certificates and to use the DKD logo.

Details of the scope of accreditation (measuring instruments, measurands, ranges of measurement, uncertainties of measurement) are specified in the annex. The documents submitted form an integral part of the accreditation. Modifications must be made in writing.

The accreditation is granted with the reservation that it can be withdrawn at any time if the defined conditions are no longer met. The validity and the current scope of accreditation are documented on the web pages of Deutscher Kalibrierdienst (<http://www.dkdeu>).

Accreditation certificates and annexes to them may be distributed only without modifications. Extracts may be published only with the permission of the Accreditation Body of Deutscher Kalibrierdienst. The impression that products and services of the holder, that are not covered by the accreditation, are also subject to the calibration procedures is not to be assumed. Should the impression nevertheless be given, the Accreditation Body of Deutscher Kalibrierdienst shall be notified by e-mail immediately. In case of a reference to the accreditation as a calibration laboratory, the fields covered by the accreditation must be explicitly specified in case of doubt, the Accreditation Body of Deutscher Kalibrierdienst should be contacted before such reference is made.

Deutscher Kalibrierdienst Accreditation Body

DKD

Annex 06 of 2007-04-17 to the accreditation certificate of the calibration laboratory DKD-K-05701 Page 1 of 2

ABB Automation Products GmbH
Abt. APRI / IF-Alz
Borsigstraße 2
63755 Alzenau
Germany
Phone: +49 6323 93 3285
Fax: +49 6323 93 3282
E-mail: andreas.schuler@abb.com

Head: Dr.-Ing. (FH) Andreas Schuler
Deputy: Dr.-Ing. (FH) Jürgen Petrich
Michael Müller
Klaus Dzwergel
Michael Kauter

Accredited since: 1987-06-26

Registration number
DKD-K-05701
Page 1 of 2
Measured quantities:
Volume flow,
mass flow,
volume and mass of flowing
gases,
resistance thermometers,
thermopiles

Measured quantity / Calibration item	Range	Measurement conditions / procedure	Best measurement capability ¹⁾	Remarks
Volume flow, volume of flowing gases (reference gas)	0.3 m ³ /h to 1000 m ³ /h	vertical vertical pipeline	0.3 %	Calibration of positive displacement gas meters and gas flow meters (the latter in vertical gas meters, flow rate meters (the latter) and reference pressure devices (the latter) and other meters)
Mass flow	1 kg/h to 1200 kg/h	vertical vertical pipeline	0.3 %	
Mass of flowing gases (reference gas)	1200 kg/h to 1000 kg/h	vertical vertical pipeline	0.4 %	
Temperature resistance thermometers (with or without direct indication)	0.01 °C	boiling point of water	0.04	Calibration at fixed points
	< -196 °C	boiling point of liquid nitrogen	0.10 %	Comparison with standard resistance thermometer
	-126 °C to 200 °C		20 mΩ	Comparison with standard resistance thermometer in temperature controlled bath
	> 300 °C to 650 °C		50 mΩ	
	> 900 °C to 800 °C		1.0 %	Comparison with thermocouples type S or class B
Index metal thermometers in air (with 10 °C × 1 mm)	1000.0 °C	melting point of Pt/Pd alloy in atmosphere	0.04	Met of method
Index metal thermometers (with or without direct indication)	-10 °C to 800 °C		0.04	Comparison with standard resistance thermometer in temperature controlled bath
	800 °C to 1000 °C	reference heat pipe for the range from 800 °C to 1000 °C	1.0 %	Comparison with thermocouples type S or class B
	> 1000 °C to 1200 °C		1.0 %	

¹⁾ The best measurement capabilities are stated according to DKD-3 (DA-402). These are expanded uncertainties of measurement with a coverage probability of 95% and have a coverage factor of a 2 unless stated otherwise. Uncertainties without unit are relative uncertainties referring to the measurement value unless stated otherwise.

Annex 06 to the accreditation certificate of the calibration laboratory DKD-K-05701 Page 2 of 2

Measured quantity / Calibration item	Range	Measurement conditions / procedure	Best measurement capability ¹⁾	Remarks
Temperature resistance thermometers (with or without direct indication)	-10 °C to +10 °C		1.0 %	Comparison with standard resistance thermometer in temperature controlled bath
	0 °C to 200 °C		0.2 %	
	> 300 °C to 400 °C		0.4 %	
	> 400 °C to 800 °C		1.0 %	
	800 °C to 1000 °C	reference heat pipe for the range from 800 °C to 1000 °C	2.0 %	Comparison with thermocouples type S or class B
	> 1000 °C to 1200 °C		2.0 %	
Measuring transducers with resistance thermometer	-10 °C to 800 °C	same as for resistance thermometers	0.04 to 0.10 %	(See 10.1) expanded measurement uncertainty from the calibration of the resistance thermometer only (see the thermocouple only)
Measuring transducers with thermocouple	-10 °C to 1200 °C	same as for thermocouples	0.04 to 0.10 %	
Surface built-in thermocouples (reference thermocouples)	80 °C to 100 °C		0.04	1 measured value in °C
	> 100 °C to 500 °C		0.04 % (1 °C)	

¹⁾ The best measurement capabilities are stated according to DKD-3 (DA-402). These are expanded uncertainties of measurement with a coverage probability of 95% and have a coverage factor of a 2 unless stated otherwise. Uncertainties without unit are relative uncertainties referring to the measurement value unless stated otherwise.

Bild 3-12:

Prüfung von Messgeräten für die Volumenmessung von strömenden Flüssigkeiten (Eichzulassung)

Verschiedene Prüfstände von ABB haben durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) die Zulassung für die Eichung zugelassener Messgeräte (siehe nächsten Abschnitt), sowie für die messtechnische Prüfung im Beisein eines Eichbeamten. Die ausgestellten Eichscheine (ohne Messwertangaben gemäß Eichordnung) oder Prüf-scheine MEN (mit Messwertangaben) sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale.

Bauartzulassung zur innerstaatlichen Eichung (Deutschland)

Um ein Messgerät eichen zu können, muss man nicht nur den dafür zugelassenen Prüfstand haben. Die Durchflussmessgeräte selbst müssen von der PTB zur inner-staatlichen Eichung zugelassen worden sein, um nachzuweisen, dass sie den Anfor-derungen der Eichordnung gewachsen sind. Die Eichordnung EO 5 unterscheidet ver-schiedenartige Messmedien und beurteilt sie individuell. So beinhaltet die Zulassung nicht nur die Gerätetype, sondern auch die Nennweite, den Durchflussmessbereich und das Messmedium. ABB verfügt über folgende Zulassungen:

Zulassungsbereich		Gerätetyp	Nennweitenbereich
Kaltwasser/Abwasser	6.221	Magnetisch-induktive Durchflussmesser	DN 25...DN 2000
Warm-/Heißwasser	22.16	Drall-Durchflussmesser	DN 25...DN 200
Flüssigkeiten, außer Wasser zum Beispiel:	5.721	Magnetisch-induktive Durchflussmesser	DN 25...DN 40, DN 65, DN 80 DN 100...DN 150 DN 25...DN 100 DN 50...DN 100 DN 25 DN 25...DN 150
• Milch • Sole • Bier • Bierwürze • Getränkekonzentrat • Chemische Flüssigkeiten			

Zugelassene und geeichte Geräte sind an ihrem speziellen Typenschild erkennbar:

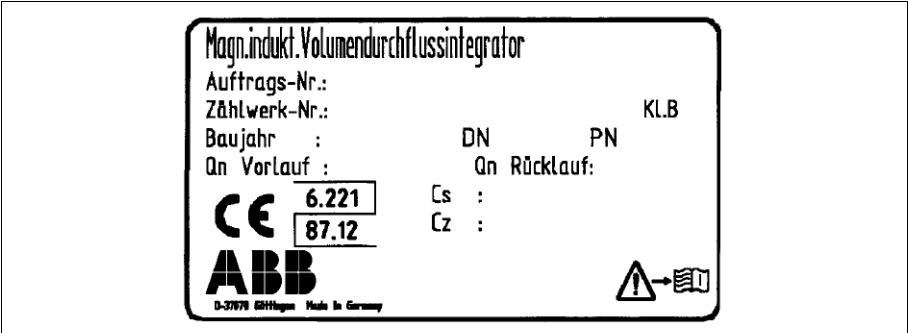


Bild 3-13: Typenschild eines Messgerätes mit Zulassung für die Eichung von Wasser/Abwasser (nur für Deutschland)

3.10.7 Möglichkeiten der Kalibrierung bei ABB

Werkskalibrierungen

Messgröße	Volumendurchfluss
Messmedium	Wasser
Nennweitenbereich	DN 1...DN 2400
Messbereich ¹⁾	$q_v = 0,2 \text{ l/min} \dots 6.000 \text{ m}^3/\text{h}$

Messgröße	Volumendurchfluss
Messmedium	Atmosphärische Luft
Nennweitenbereich	DN 15...DN 300
Messbereich ¹⁾	$q_v = (2 \dots 4600) \text{ m}^3/\text{h}$

Werkskalibrierungen (auch Vor-Ort-Kalibrierung möglich)

Messgröße	Volumendurchfluss
Messmedium	Atmosphärische Luft
Messbereich ¹⁾	(0,1...25) m^3/h (10...1000) m^3/h
Messgenauigkeit	< 0,5 % vom Messwert
Besonderheiten	$p_{\max}$ 16 bar

¹⁾ Angegeben ist der maximale Bereich über alle Nennweiten.

Sonderkalibrierung mit Prozessgas

Die einzigartige Prozessgasmessanlage dient der Kalibrierung von Gas-Masse-Durchflussmessern, mit und ohne Ex-Zulassung, für brennbare und nicht brennbare Gase. Allerdings sind korrosiv auf verwendete Materialien wirkende, sowie giftige Gase von der Verwendung ausgeschlossen.

Messgröße	Volumendurchfluss
Messmedium	Prozessgas
Nennweitenbereich	DN 25...DN 100
Messbereich ¹⁾	1...700 m³/h (Normbedingung)
Druckbereich	0,5...20 bar abs.

¹⁾ Angegeben ist der maximale Bereich über alle Nennweiten.



Bild 3-14: Bilder der Prozessgasanlage

Eichungen / Sonderprüfung MEN

Messgröße	Volumendurchfluss
Messmedium	Wasser
Nennweitenbereich	DN 10...DN 2000
Messbereich ¹⁾	$q_v = \max. 6000 \text{ m}^3/\text{h}$

DKD-Kalibrierungen

Messgröße	Volumen-/Massedurchfluss Volumen/Masse von strömenden Flüssigkeiten	
Messmedium	Wasser	
Nennweitenbereich	DN 50...DN 600, DN 800	
Messbereich ¹⁾	$q_v = 5...3000 \text{ m}^3/\text{h}$ $q_m = 5...3000 \text{ t/h}$	$V = 1,5...60,0 \text{ m}^3$ $m = 1,5...60,0 \text{ t}$
Kleinste angebbare Messabweichung ²⁾	0,15 %	0,1 %
Messeingänge	Strom 0/4...20 mA Frequenz 0...10 kHz	

Messgröße	Volumen-/Massedurchfluss Volumen/Masse von strömenden Gasen	
Messmedium	Atmosphärische Luft	
Messbereich	$q_v = 0,8...1000 \text{ m}^3/\text{h}$ $m = 1...1200 \text{ t/h}$	$q_v = 1000...7300 \text{ m}^3/\text{h}$ $m = 1200...8800 \text{ kg/h}$
Kleinste angebbare Messabweichung	0,3 %	0,4 %
Labor	DKD-K-05701	

¹⁾ Angegeben ist der maximale Bereich über alle Nennweiten.

²⁾ Die kleinste angebbare Messabweichung ist nach DKD-3 (EA-4/02) festgelegt. Dies sind erweiterte Messabweichungen mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % und haben den Erweiterungsfaktor $k = 2$. Messabweichungen ohne Einheitenangabe sind auf den Messwert bezogene Relativwerte.

3.10.8 Messgeräte Richtlinie (MID)

Die MID ist eine europäische Richtlinie und beschreibt Voraussetzungen für das Inverkehrbringen und den Betrieb von Messgeräten für das gesetzliche Messwesen (Eichwesen). Die Richtlinie wurde vom Europäischen Parlament verabschiedet und wurde von den nationalen Gesetzgebern der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union in nationale Gesetze umgesetzt. In Deutschland bedeutete dies eine Novelle des bereits bestehenden Eichgesetzes.

Wegen der europäischen Harmonisierung gilt eine Zulassung in sämtlichen Mitgliedsstaaten der EU. Die gerätetechnischen Notwendigkeiten werden in der MID nur grob umrissen, um technologisch keine Einschränkungen zu erzwingen. Für detailliertere Informationen wird auf unterschiedliche Empfehlungen der OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) verwiesen.

Beim Konformitätsbewertungsverfahren sind verschiedene Modulkombinationen möglich:

Produktionsphasen beim Hersteller	Konformitätsbewertungsverfahren			
	Module B + F	Module B + D	Modul G (nicht für Wasserzähler)	Modul H1
Entwicklung Entwurf			Einzelprüfung	Entwurfsprüfung
Baumuster	Baumusterprüfung (B)	Baumusterprüfung (B)		
Serienfertigung		QM-System Produktion (D)		Vollständiges QM-System
Endprodukt	Ersteichung (F)			
	Konformitätserklärung und Kennzeichnung			

Tab. 3-1: Übersicht Modulkombinationen

Zeitlicher Ablauf der MID und Übergangsfristen

Die MID wurde in 2004 vom Europäischen Parlament verabschiedet und musste innerhalb von zwei Jahren (spätestens ab 30. 10. 2006) in nationale Gesetze umgesetzt werden.

Die vor diesem Zeitpunkt erteilten Bauartzulassungen werden bis maximal 10 Jahre nach diesem Termin für Neueichungen anerkannt (also bis maximal 29. 10. 2016).

3.10.9 OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale)

OIML ist eine Internationale Organisation für das gesetzliche Messwesen mit Sitz in Paris. Sie existiert bereits viele Jahre und hat diverse Empfehlungen und Dokumente zur weltweiten Vereinheitlichung des gesetzlichen Messwesens erstellt. Die PTB arbeitet sehr eng mit ihr zusammen.

Für Kaltwasser-Durchflussmessgeräte ist die OIML R49, für Durchflussmessgeräte für Flüssigkeiten außer Wasser ist die R117 maßgeblich.

OIML R49 - Durchflussmessgeräte für Kaltwasser

Diese Richtlinie beschreibt die technischen Anforderungen an das Gerät, Voraussetzungen für eine Zulassung und durchzuführende Tests (Typ- und Stückprüfungen). Dies sind z. B.:

- Genauigkeitsklassen (1 % und 2 %)
- Messbereiche in festen Stufen
- Durchflussbereiche Q1 bis Q4 (Minstdurchfluss bis Überlastdurchfluss)
- Durchfluss-Messpunkte, Einbaulage, Einlauf-/Auslaufstrecken
- Anzeige von Volumen
- Funktionsprüfungen bei Geräten mit elektronischen Einrichtungen (z. B. EMV, Vibration, Temperatur)

OIML R117 - Durchflussmessenanlagen für Flüssigkeiten, außer Wasser

Diese Richtlinie beschreibt die technischen Anforderungen an das Durchflussmessgerät und die gesamte Messanlage, Voraussetzungen für eine Zulassung und durchzuführende Tests (Typ- und Stückprüfungen). Dies sind z.B.:

- Verschiedene Genauigkeitsklassen, abhängig vom Messmedium und der Applikation
- Messbereiche in festen Stufen
- Durchflussbereiche $Q_{\min}$ bis $Q_{\max}$, mit festem Verhältnis zueinander
- Durchfluss-Messpunkte, Einbaulage, Einlauf-/Auslaufstrecken,
- Anzeige von Volumen oder Masse (Umrechnung bedarf eines besonderen Anerkennungsverfahrens)
- Funktionsprüfungen bei Geräten mit elektronischen Einrichtungen (z. B. EMV, Vibration, Temperatur)
- Eignung der gesamten Messanlage (z. B. Pumpe, Filter, Gasabscheider)

4 Kriterien für die Geräteauswahl

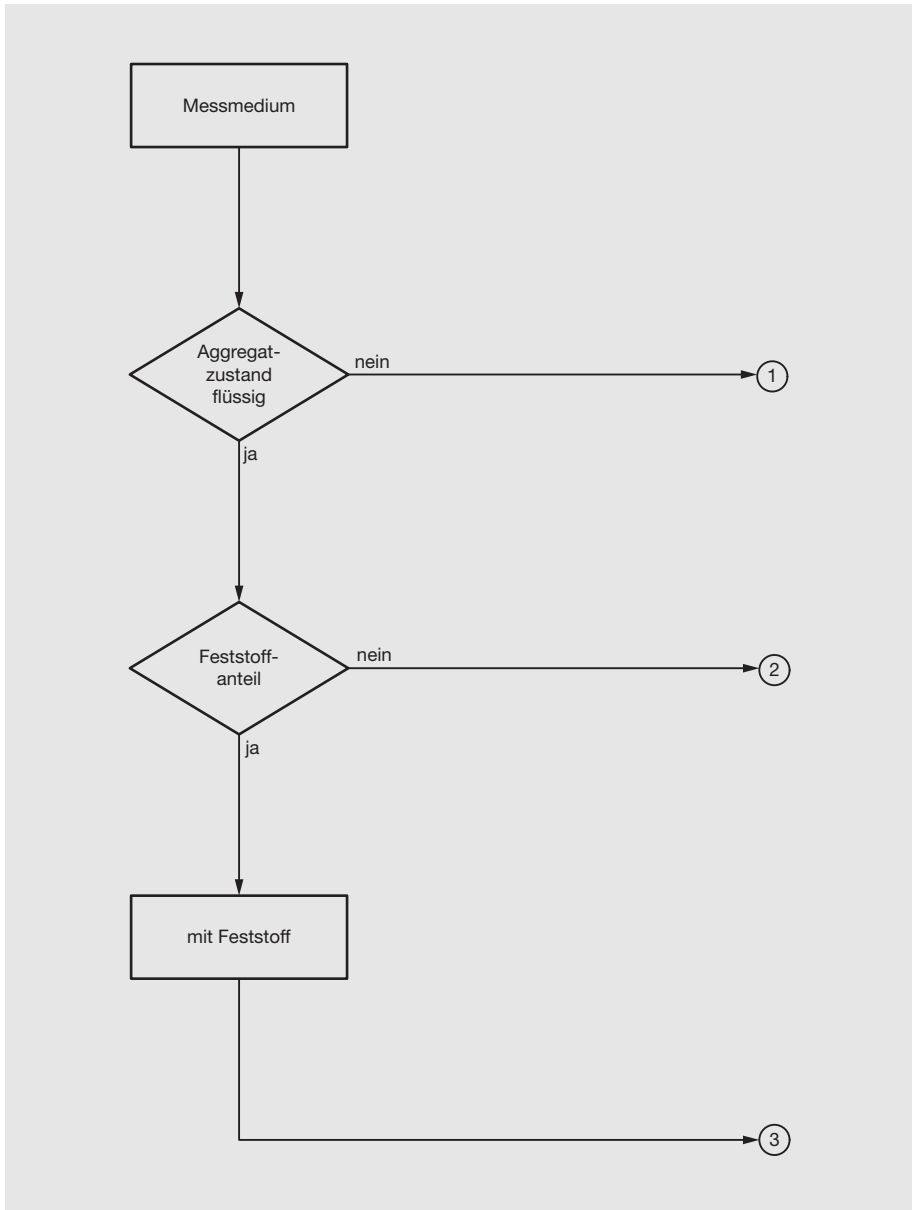
Mit einer Gegenüberstellung unterschiedlich zu beurteilender Eigenschaften von Volumenzählern und Durchflussmessern soll versucht werden, die interessantesten Gesichtspunkte für die Geräteauswahl zusammenzufassen, um so dem Anwender einen Leitfaden an die Hand zu geben. In Tabellen sind die verschiedenen Kriterien zusammengestellt, um die Prüfung für die Eignung im speziellen Einzelfall zu erleichtern.

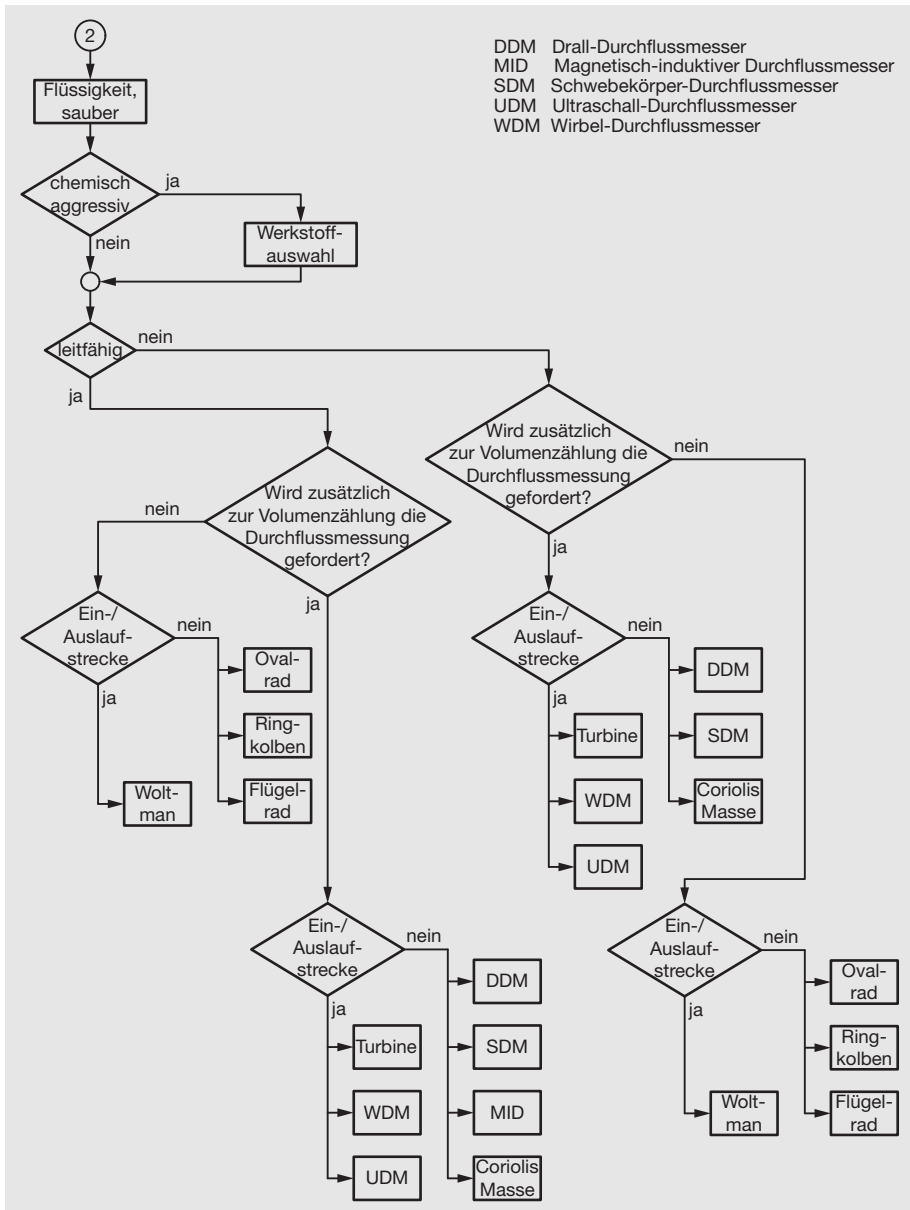
Natürlich ist es nicht möglich, den Rahmen dieser Arbeit so auszudehnen, dass sie allumfassend ist. Immer gibt es Spezialkonstruktionen für den Einsatzfall, und auch die hier festgehaltenen Größen und Werte werden sicher immer wieder aktualisiert. Sie stellen daher lediglich eine Momentaufnahme dar.

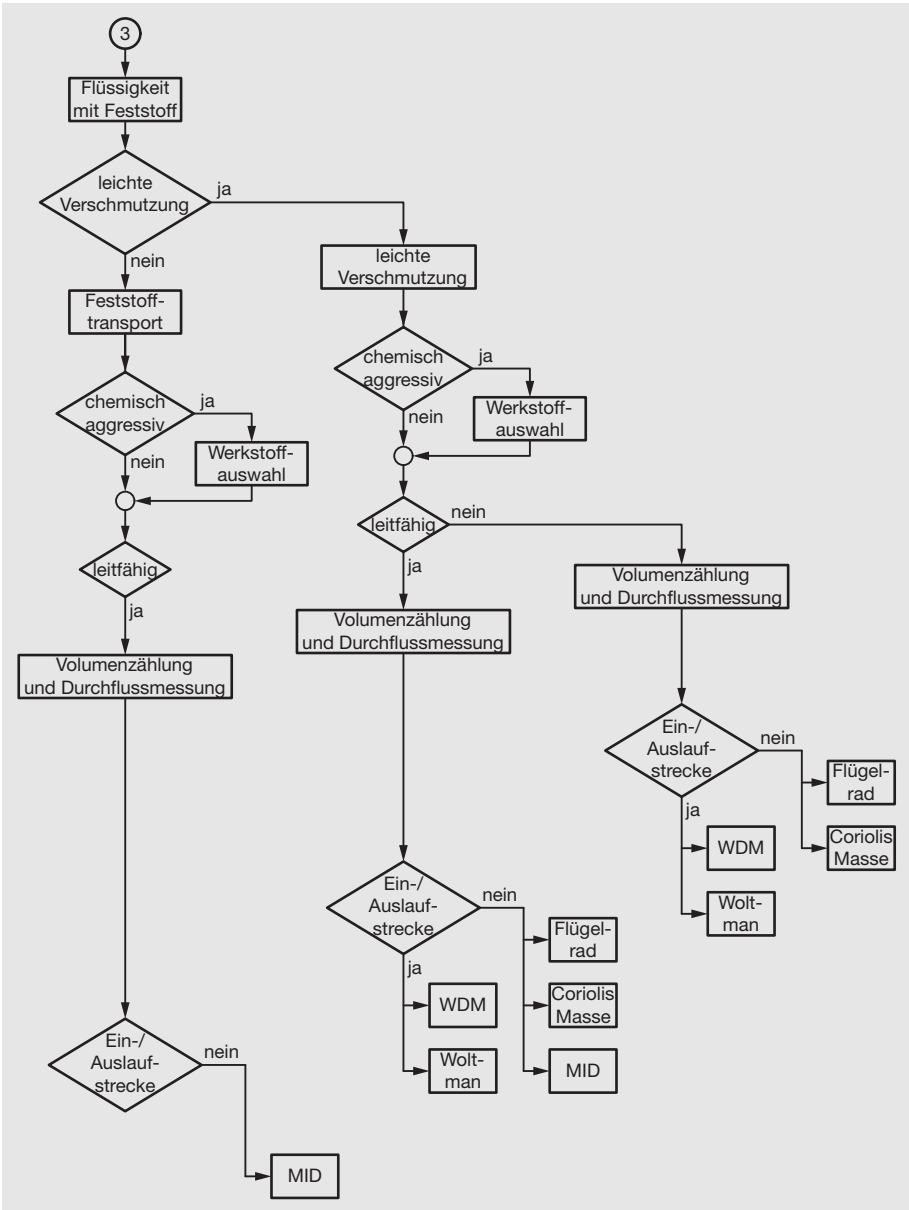
Oft wird der reine Anschaffungspreis als wesentliches Auswahlkriterium herangezogen. Nebenkosten, z. B. für die Vorbereitung des Einsatzortes, für die Montage oder für die Wartung werden oft hinten angestellt oder zu sehr vernachlässigt. Vielleicht spielt auch die Frage nach der Langzeitstabilität eine entscheidende Rolle bei der Geräteauswahl. Die nachstehenden Gegenüberstellungen sollen Hilfestellung geben.

4.1 Durchflussmesser für die geschlossene Rohrleitung

Flussdiagramme zur Geräteauswahl mit einigen wichtigen Auswahlkriterien:







4.1.1 Einfluss der Eigenschaften des Messmediums

An erster Stelle steht das Messmedium. Sein Volumen und sein Durchfluss sollen festgestellt werden. Bevor man eine Gerätetype bestimmt, analysiert man die Art des zu messenden Mediums und dessen Eigenschaften. Für den Projektierenden ist damit schon eine wesentliche Arbeit getan.

	Mess- medium	Aggre- gat- zustand	Zähig- keits- ober- grenze [mPas]	Feststoffe im Messmedium		elek- trische Leitfähig- keit	Gasanteile in der Flüssig- keit	Änderung von Druck, Dichte, Tempe- ratur	chemisch aggressives Messmedium, Korrosions- gefahr
				leicht ver- schmutzt	Feststoff- transport				
Volumenzähler	unmittelbare Ovalrad- zähler	F	$1 \cdot 10^5$	erhöhter Verschleiß, Gefahr der Blockade	u	n	Fehler	geringe Fehler	Gehäuse und Räder aus CrNi- Stahl Kohle-Lager
	Ring- kolben- zähler	F	$2 \cdot 10^4$		u	n	Fehler		Gehäuse aus CrNi-Stahl PTFE-Kolben Kohle-Lager PTFE-Lager
	Dreh- kolben- zähler	G	ohne Einfluss		u	n	—		Stahlguss- Gehäuse Alu-, Stahl-, Guss-Kolben Ölabdichtung
	mittelbare Flügelrad- zähler	F	5		u	n	Fehler		Kunststoff- Teile, Messing- gehäuse
	Woltman- zähler	F	3		u	n	Fehler		Guss- Gehäuse, Kunststoff- Flügelrad, Teile aus CrNi-Stahl
	Turbinen- rad- zähler	F (G)	700		u	n	Gefahr des Über- drehens		Nickel-Rotor, Gehäuse und andere Teile aus CrNi-Stahl
n = kein Einfluss u = ungeeignet F = flüssig G = gasförmig D = Dampf									

Tab. 4-2: Einfluss der Eigenschaften des Messmediums

	Messmedium	Aggregatzustand	Zähigkeitsobergrenze [mPas]	Feststoffe im Messmedium		elektrische Leitfähigkeit	Gasanteile in der Flüssigkeit	Änderung von Druck, Dichte, Temperatur	chemisch aggressives Messmedium, Korrosionsgefahr
				leicht verschmutzt	Feststofftransport				
Durchflussmesser	Wirbel-Durchflussmesser	F, G, D	7,5	weitgehend unempfindlich gegen Verschmutzung	u	n	Kavitationseffekte möglich	Gasmessung mit Einfluss, Flüssigk.-messung ohne Auswirkung	CrNi-Stahl (Hastelloy)
	Drall-Durchflussmesser	F, G, D	30 (nennweitenabhängig)		u	n			CrNi-Stahl (Hastelloy)
	Wirkdruckmessverfahren	F, G, D	siehe Tabelle 2.4	Beschädigung d. Messkante, Verstopf. des Wirkdruckanschlusses	u	n	Fehler	Einfluss auf Δp	CrNi-Stahl
	Schwebekörper-Durchflussmesser	F, G, D	100 (700)	Beschädigung der Messkante	u	n	Fehler	Dichte ändert Auftrieb	CrNi-Stahl, Hastelloy, PTFE, Glas
	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	F	ohne Einfluss	n	n	$\geq 0,5 \mu\text{S/cm}$	Fehler	n	PTFE, PFA, Platin
	Ultraschall-Durchflussmesser	F (G)	Re-Einfluss	nur bei Doppler zulässig. Dämpfung bei Laufzeit	u	n	Fehler bei Doppler, Dämpfung bei Laufzeit	Schallgeschwindigkeit ändert sich bei Doppler	CrNi-Stahl, PTFE
	Masse-Durchflussmesser, Coriolis	F (G)	ohne Einfluss	eingeschränkt möglich	u	n	Fehler	Dichte ist Messgröße	CrNi-Stahl, Hastelloy
	Masse-Durchflussmesser, thermisch	G	ohne Einfluss	weitgehend unempfindlich gegen Verschmutzung	u	n	—	n	Edelstahl, Hastelloy, Keramik
n = kein Einfluss u = ungeeignet F = flüssig G = gasförmig D = Dampf									

Tab. 4-3: Einfluss der Eigenschaften des Messmediums

Einfluss der Viskosität

Die Viskosität ist eine Eigenschaft des Messmediums. Mit Hilfe der Reynoldsschen Zahl gelingt es, den Viskositätseinfluss und die Dimensionen der Messstelle abzustimmen. Bei $Re < 2300$ herrscht laminare Strömung mit großem Viskositätseinfluss. Ein Übergangsbereich liegt etwa zwischen $2300 < Re < 3000$, darüber tritt Turbulenz auf. Bei turbulenter Strömung gibt es keine Einschränkungen durch die Viskosität. Kleine Re-Werte haben, abhängig von der Messmethode, unterschiedliche Auswirkungen.

Bei der Gaszählung bzw. -durchflussmessung macht sich der Viskositätseinfluss kaum bemerkbar. Lediglich bei kleinen Schwebekörper-Durchflussmessern mit leichten Schwebekörpern vergrößert sich im unteren Messbereich der Fehler geringfügig.

Anders sieht es bei Flüssigkeiten aus. Völlig viskositätsunabhängig arbeiten magnetisch-induktive und Masse-Durchflussmesser, wobei letztere, je nach Länge der Messstrecke, Druckverluste verzeichnen. Ultraschall-Durchflussmesser haben im Übergangsbereich von der laminaren zur turbulenten Strömung Schwierigkeiten.

Bei Wirbel-, Drall- und Turbinen-Durchflussmessern verschiebt die ansteigende Viskosität den Anfangsmesswert und engt damit die Messspanne ein.

Ovalrad- und Ringkolbenzähler sind die idealen Geräte für große Viskositäten. Mit der großen Viskosität werden sie wegen kleinerer Spaltverluste genauer.

Mit einer speziellen Formgebung des Schwebekörpers vermindert man den Einfluss bei diesem Durchflussmesser.

Feststoffe im Messmedium

Deren Vorhandensein hat unterschiedliche Bedeutung. Da ist zuerst die meist ungewollte Verschmutzung, dann gibt es das Stoffgemisch, wie in Pasten und Breien, und schließlich den hydraulischen Feststofftransport. Unangenehm ist die Verschmutzung deshalb, weil der Umfang und die Auswirkung schlecht vorhergesagt werden können. Gase können Flüssigkeiten oder Staubpartikel mitführen. Festkörper im Gas sind schon deswegen gefährlich, weil die Fließgeschwindigkeiten beim Gastransport hoch sind und die kinetische Energie dieser Körper erheblich sein kann, so dass sie zerstörend wirken oder festhaftende Ablagerungen verursachen.

Der Drehkolben-Gaszähler geht davon aus, dass die Gase gefiltert sind. Für die Anfahrphase wird ein Sieb mit 0,1 bis 0,2 mm Maschenweite empfohlen. Außerdem kann eine Spüleinrichtung Schmutz entfernen. Bei Wirkdruck- und Schwebekörper-Durchflussmessern zerstören Staubteilchen die empfindliche Messkante.

Verunreinigte Flüssigkeiten wirken sich durch erhöhten Verschleiß bei den drehenden Zählern aus. Im äußersten Fall verklemmen sich die rotierenden Teile. Wirbel- und Drall-Durchflussmesser schwemmen leichte Verschmutzungen durch das Gerät.

Verursacht im magnetisch-induktiven Durchflussmesser eine nichtleitende Ablagerung (Öl, Fett) die Isolation der galvanisch angekoppelten Elektroden, so muss der kapazitive Abgriff eingesetzt werden. Eine leitfähige Ablagerung, etwa durch Magnetit erzeugt nur dann einen Fehler, wenn das Messmedium (hier Wasser) eine Leitfähigkeit von weniger als 100 $\mu\text{S/cm}$ hat. Ansonsten ist der magnetisch-induktive Durchflussmesser das am wenigsten beeinflusste Gerät.

Ein Sonderfall ist der Ultraschall-Durchflussmesser, da das Doppler-Prinzip einige Fremdkörper als Reflektoren benötigt. Das Laufzeitverfahren lässt nur geringste Schmutzanteile zu und schließt Gasblasen aus. Ablagerungen beeinflussen die Schallstrecke und verursachen daher Fehlmessungen.

Voraussetzung für die einwandfreie Funktion des Masse-Durchflussmessers ist, dass die Feststoffpartikel den Schwingungen folgen, was wiederum von der Viskosität der Flüssigkeit abhängt. Also mit der größer werdenden Masse und damit der Trägheit des Teilchens wächst die Gefahr der Fehlmessung.

Hydraulischer Feststofftransport

Liegt das vor, wie z. B. bei Kohleschlamm oder Baggergut, ist ein Leitungsweg ohne Verengungen oder Einbauten vorzusehen. Dazu kommt erhöhter Verschleiß. Die Durchflussmessung in dieser Strecke ist nur mit dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser möglich. Der Verschleiß lässt sich durch die richtige Auswahl der Werkstoffe für Auskleidung (Ceramic Carbide, PU, Weichgummi) und Elektroden (Hastelloy) minimieren. Die gesuchte Messgröße beim hydraulischen Feststofftransport ist meistens die Masse des bewegten Feststoffes. Deshalb kombiniert man den Volumendurchflussmesser mit einem Dichtemesser (Isotopen-Dichtemesser) und errechnet aus dem Produkt beider Größen den Massedurchfluss.

Ablagerungen

Unerwünschte Ablagerungen in Rohrleitungen werden durch Molchen beseitigt. Die Wirksamkeit des Molchens hängt u. a. davon ab, dass der Rohrinnendurchmesser auf der gesamten Strecke nicht verändert wird. Der in der Leitung befindliche Durchflussmesser muss natürlich die gleichen Bedingungen erfüllen, d. h., Anpassung des Innendurchmessers ohne Stoßstellen. Nur magnetisch-induktive und Ultraschall-Durchflussmesser lassen sich individuell anpassen. Masse-Durchflussmesser mit geteilten Rohren können nicht gemolcht werden.

Gasanteile in der Flüssigkeit

Die zur Durchflussmessung bei Flüssigkeiten eingesetzten Geräte sind Volumendurchflussmesser, die nicht zwischen Gas und Flüssigkeit unterscheiden können. Deshalb verursachen Gaseinschlüsse Fehler in der Größenordnung ihres Volumenanteils. Vom Coriolis Masse-Durchflussmesser ist eine richtige Messung zu erwarten. Aber auch hier entstehen Fehler durch die Dämpfungseigenschaften der Gase.

Unabhängig davon gibt es einige Nebenerscheinungen, die ebenfalls beachtet werden müssen. Bei Turbinendurchflussmessern besteht die Gefahr des Überdrehens durch größere Gasblasen. Kavitation entsteht leicht bei höheren Fließgeschwindigkeiten und das besonders bei Wirbel- und Drall-Durchflussmessern. Im Ultraschall-Durchflussmesser nach dem Laufzeitverfahren wird sowohl die Laufzeit als auch die Dämpfung verändert, so dass sich auch versteckte Gasbläschen bemerkbar machen. Schon bei 0,2 % Volumenanteil gibt es Fehlmessungen.

Korrosionsgefahr durch aggressive Messmedien

Den Auswirkungen der Korrosion ist nur durch die richtige Wahl der verwendeten Werkstoffe beizukommen. Eine kleine Unaufmerksamkeit beispielsweise bei der Materialfestlegung für eine Dichtung kann das Messgerät funktionsunfähig machen.

Die komplizierten Bauteile der Volumenzähler sind bei der Werkstoffauswahl benachteiligt. Deshalb sind diese Geräte bei korrosiv wirkenden Messmedien nicht beliebt. Flügelrad- und Woltmanzzähler werden sowieso bevorzugt für die Wassermessung eingesetzt.

Die Durchflussmesser bieten mehr Werkstoffvielfalt. Allerdings muss bei der Wirkdruckmessung darauf geachtet werden, dass nicht nur die eigentliche Messblende, sondern auch Wirkdruckleitung und Armaturen resistent sein müssen. Unter Umständen verhindert das Spülen der Wirkdruckleitung mit einer Sperrflüssigkeit oder einem Gas das Eindringen der gefährlichen Stoffe.

Schwebekörper-Durchflussmesser aus Sonderwerkstoffen werden teuer und kommen daher selten zum Einsatz. Ähnliches gilt für Masse-Durchflussmesser.

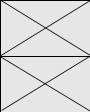
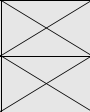
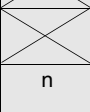
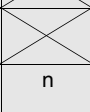
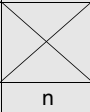
Gute Problemlösungen bieten lediglich magnetisch-induktive und Ultraschall-Durchflussmesser. Das glatte Messrohr lässt sich resistent auskleiden, zum Beispiel mit PTFE. Ultraschallsonden beim Ultraschall-Durchflussmesser und Elektroden beim magnetisch-induktiven Durchflussmesser haben den direkten Kontakt zum Messmedium, ragen also aus dem Rohr bzw. der Auskleidung heraus. Die Ultraschallsonde kann CrNi-Stahl- oder Hastelloy-Schutz bieten. Bessere Alternativen hat der magnetisch-induktive Durchflussmesser. Die Elektrodenwerkstoffe sind vielfältig. Sie reichen von CrNi-Stahl über Monel, Titan, Hastelloy und Platin bis zur Kohle.

4.1.2 Strömungstechnische Einflüsse

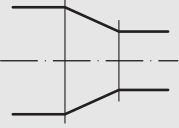
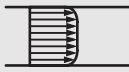
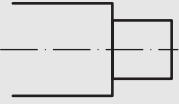
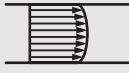
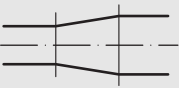
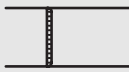
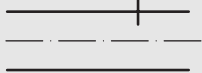
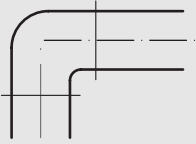
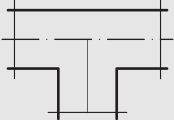
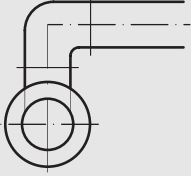
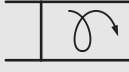
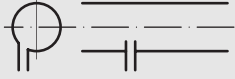
Das durch die Rohrleitung strömende Messmedium hat Eigenschaften, die sein Strömungsverhalten besonders in Verbindung mit der Leitungsbildung beeinflussen. Dem gegenüber steht die eingeschränkte Fähigkeit der Messgeräte, diese Einflüsse fehlerlos zu verarbeiten. Oder anders gesagt, es gibt Einschränkungen, die durch das Geschwindigkeitsprofil und die Reynoldsche Zahl Re gekennzeichnet sind.

Die ideale Strömungsart ist die turbulente Strömung mit einem rotationssymmetrischen Strömungsprofil. Das in Bild 1-2 zweidimensional dargestellte Geschwindigkeitsprofil muss dreidimensional betrachtet werden. Alle Geräte arbeiten einwandfrei. Ähnlich verhalten sich die meisten Geräte bei rotationssymmetrischer laminarer Strömung mit der Einschränkung, dass die Messspannen der mittelbaren Volumenzähler, der Wirkdruckmesser und der Schwebekörper-Durchflussmesser mit steigender Viskosität verkleinert werden.

Am problemlosesten werden die Verdrängungszähler mit Strömungsunregelmäßigkeiten fertig. Und bei Stoffen mit niedriger Reynoldszahl Re arbeiten sie genauer.

		Strömungsart			Beruhigungsstrecke		
		laminar	Übergang	turbulent	Einlauf	Auslauf	stoßförm. Betrieb
unmittelbare	Ovalradzähler	n	n	n	n	n	Verschleiß
	Ringkolbenzähler	n	n	n	n	n	Verschleiß
	Drehkolbenzähler	n	n	n	n	n	Resonanzgefahr
mittelbare Volumenähler	Flügelradzähler	n	n	n	n	n	n
	Woltmanzähler	n	n	n	5 x D	3 x D	n
	Turbinenradzähler	n	n	n	15 x D	5 x D	Übertourg. Verschleiß
	Wirbel-Durchflussmesser			n	15...25 x D	5 x D	n
	Drall-Durchflussmesser			n	3 x D	1 x D	n
	Wirkdruck-Messverfahren	n	n	n	Tab. 2.5	Tab. 2.5	Fehler
Durchflussmesser	Schwebekörper-Durchflussmesser	n	n	n	n	n	Fehler
	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	n	n	n	3 x D	2 x D	n
	Ultraschall-Durchflussmesser	n		n	wie bei Blenden Tab. 2.5	5 x D	n
	Coriolis Masse-Durchflussmesser	n	n	n	n	n	Fehler
	Thermischer Masse-Durchflussmesser	n	n	n	15 x D	5 x D	n
n = kein Einfluss;  = ungeeignet 1 x D = Ein-Auslaufstrecke von 1 x D Länge							

Tab. 4-4: Strömungstechnische Einflüsse

Konstruktiver Aufbau der Störung		Geschwindigkeitsprofil (tubulent)	
Diffusor konzentrisch			rotations- symmetrisch
stoßförmige Einschnürung, konzentrisch			
Konfusor, konzentrisch			
stoßförmige Erweiterung, konzentrisch			
Schieber, asymmetrisch			asymmetrisch
90°-Bogen			
T-Stück			
zwei 90°-Bögen in verschiedenen Ebenen			Rotation
seitliche Einströmung, exzentrisch			Drall

Tab. 4-5: Geschwindigkeitsverteilung in der Rohrleitung 1...2 x D hinter einem Störer bei turbulenter Strömung

Gestörte Strömungsprofile bei turbulenter Strömung müssen unabhängig vom Gerätetyp unterschiedlich betrachtet werden. Tab. 4-5 zeigt einige Beispiele für Störungen und deren Auswirkungen auf die Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt. Den Verdrängungszählern bereiten derartige Veränderungen keine Schwierigkeiten. Das gleiche gilt für Schwebekörper- und Masse-Durchflussmesser nach dem Coriolis-Prinzip, sowie für Drall-Durchflussmesser.

Die nach dem Wirkdruckverfahren arbeitenden Geräte reagieren sehr empfindlich auf Störungen. Deshalb sollen lange störungsfreie Rohrstrecken für eine Egalisierung sorgen (Tab. 2-4). Auch der Ultraschall-Durchflussmesser wird dann gestört, wenn der sehr enge Schallstrahl nicht alle Geschwindigkeitsveränderungen erfasst, was nur selten der Fall sein kann. Darum gelten ähnliche Vorschriften wie bei Wirkdruckmessern. Günstiger gestalten sich die Verhältnisse beim Ultraschall-Zweistrahilverfahren.

Die rotationssymmetrischen Strömungsprofile sind gutartige Störungen, die nach kurzen Einlaufstrecken ihren Einfluss verlieren. Die stoßförmigen Übergänge können allerdings noch Randwirbel mitführen. Die mittelbaren Zähler, magnetisch-induktive Durchflussmesser und Masse-Durchflussmesser, haben keine Probleme.

Anders sieht es bei den asymmetrischen Profilen aus. Die unmittelbaren Volumenzähler fordern $10...15 \times D$ Einlaufstrecke (Ein-Auslaufstrecken sind gerade Rohrleitungsstücke mit dem gleichen Durchmesser wie der des Messgerätes. Mit Hilfe von Strömungsgleichrichtern lassen sich die Strecken verkürzen), während der magnetisch-induktive Durchflussmesser mit $3...5 \times D$ auskommt. Drall und Querwirbel pflanzen sich in geraden Rohrleitungen über große Entfernungen fort. Da ihr Einfluss auf die Messgenauigkeit beträchtlich ist, müssen Strömungsgleichrichter diese Wirkung verhindern.

Die in Tab. 4-4 aufgeführten Einlaufstrecken sollen den Messgeräten vorgeschaltet werden. Zusätzliche Strecken im Auslauf der Geräte sollen dem zurückwirkenden Einfluss von Störern hinter dem Messwertempfänger verhindern. Die Längen liegen zwischen $3 \times D$ und $10 \times D$.

4.1.3 Einsatzbereiche und technische Grenzwerte

Der Einsatzort ist mitbestimmend für die Auswahl eines Messgerätes, denn die örtlichen Gegebenheiten lassen sich nur bedingt auf das Leistungsvermögen bestimmter Durchflussmesser einstellen.

Wenn z. B. Feststoffe hydraulisch transportiert werden, ist der Ringkolbenzähler nicht einsetzbar oder wenn für Gasmessungen ein magnetisch-induktiver Durchflussmesser verwendet werden soll, so scheitert das an der nicht vorhandenen elektrischen Leitfähigkeit.

Tab. 4-6 zeigt eine Anzahl von Kriterien, die durch die Messstelle vorgegeben sein können. Die Leistungsdaten in der Tabelle sind Firmendruckschriften entnommen. Es gibt sicher Gerätevarianten, deren Grenzwerte außerhalb der Tabellenwerte liegen.

		Nennweite DN	Einbau- lage	max. zul. Messst.- Tempe- ratur	höchste Druck- stufe PN	Vibra- tion	Pulsation	Verhalten bei Rückfluss	Energie- versorgung		
Volumenzähler	unmittelbare	Ovalrad- zähler	6...400	waagrecht	300 °C	100	ver- stärkter Ver- schleiß	geringer Einfluss	Rück- wärts- zählung	nicht erforderlich, nur bei Umformung und Mess- wertüber- tragung	
		Ringkolben- zähler	15...800	beliebig	300 °C	100					
		Drehkolben- zähler	40...300	waagrecht	40 °C	25		starker Einfluss			
	mittelbare	Flügelrad- zähler	15...50	waagrecht (senkrecht)	130 °C	16	Einfluss				
		Woltman- zähler	40...400	waagrecht (senkrecht)	130 °C	40					
		Turbinenrad- zähler	5...600	waagrecht (senkrecht)	250 °C	100					
		Wirbel-Durch- flussmesser	15...300	beliebig	400 °C	100	Einfluss*)	wenig Einfluss	keine definierte Messung	zur Versorgung der Mess- umformer	
		Drall-Durchfluss- messer	15...400	beliebig	280 °C	100	Einfluss*)				
		Durchflussmesser	Wirkdruck- Messverfahren	<50...2000	beliebig	1000 °C	630	wenig Einfluss	wenig Einfluss		wie bei Zählern
			Schwebekörper- Durchflussmesser	3...100	senkrecht	360 °C	250	starker Einfluss	starker Einfluss		
Magn.-induktive Durchflussmesser	1...3000		beliebig	180 °C	250	kein Einfluss	kein Einfluss	kompl. Mes- sung bei Rückfluss	erforderlich		
Ultraschall- Durchflussmesser	10...3000		beliebig	200 °C	100		geringer Einfluss	Messung möglich			
Coriolis Masse- Durchflussmesser	1,5...150		beliebig	180 °C	100	kein Einfluss	kaum Einfluss	kompl. Mes- sung bei Rückfluss			
Thermischer Masse-Durch- flussmesser	25...3000		beliebig	300 °C	40	kein Einfluss	wenig Einfluss	Messung möglich			
*) Kompensation bei Wirbel-Drall-Durchflussmessern											

Tab. 4-6: Einsatzbereiche

Druck und Temperatur

Gehäusefestigkeit durch Wandstärke und Werkstoffauswahl, mechanische Toleranzen bei Wärmeausdehnung, Dichtungsart und Dichtungsmaterial, Grenzwerte der Fühler-elemente und der Einfluss auf die Übertragungsorgane sind einige Gesichtspunkte, die bei extremen Druck- und Temperaturbelastungen die Geräteauswahl beeinflussen. Beim Schwebekörper-Durchflussmesser unterscheidet man die Geräte mit Glaskonus und die mit Metallkonus. Die Druck- und Temperaturgrenzen der Glasausführung liegen natürlich weit unter denen der Metallausführung.

Die Wirkdruckmessung schließt Armaturen, Wirkdruckleitung und Messumformer ein. Diese Teile müssen entsprechend ausgelegt werden. Die Grenzdaten des Messumformers entscheiden schließlich über das gesamte System. Da die Temperaturobergrenze der Messumformer bei etwa 120 °C liegt, müssen höhere Temperaturen durch Vorlagen in der Wirkdruckleitung reduziert werden.

Vibration

Vibrationen der Rohrleitung verursachen vor allem an den beweglichen Teilen der Volumenzähler und deren Lagerstellen einen größeren Verschleiß. In den schwingenden Konstruktionselementen von Wirbel- und Masse-Durchflussmessern überlagern sich Mess- und Vibrationsfrequenzen und führen zu Fehlmessungen. Bei Resonanz kann es sogar zu Brüchen kommen. Der Wirbel-Durchflussmesser von ABB ist wegen der Trennung von Störkörper und Messfühler und wegen der Schwingungskompensation im Messfühler weitgehend unempfindlich gegen Vibrationen.

Der Masse-Durchflussmesser CoriolisMaster misst auf Grund seines S-förmigen Doppelrohrsystems Differenzsignale, die prinzipiell von äußeren Schwingungen entkoppelt sind. Zusätzlich durch seine digitale Filtertechnik ist er damit weitgehend unempfindlich gegen äußere Vibrationen. Sollten Vibrationen direkt auf die Erregerfrequenz treffen, so kann die Messung beeinflusst werden.

Die relativ große Masse des Schwebekörpers macht dieses Gerät empfänglich gegenüber Vibrationen. Deshalb sollte man Schwingungsdämpfer einschalten und Wandbefestigung vorsehen.

Pulsation

Der Einfluss von Pulsationen hängt von der Trägheit des Messsystems ab. Nur solange das Messorgan der pulsierenden Änderung verzögerungsfrei folgen kann, ist die Einwirkung unbedeutend.

Die mit beweglichen Teilen ausgerüsteten Messgeräte sind zwangsläufig einem verstärkten Verschleiß ausgesetzt. Deshalb muss unbedingt für eine Dämpfungseinrichtung gesorgt werden. Ovalrad- und Ringkolbenzähler besitzen soviel Trägheit, dass eine gewisse Eigendämpfung zur Mittelwertbildung ausreicht. Die Messabweichung wird sich etwas vergrößern.

Unter Kapitel 2.1.3 war bereits auf die Gefahren der Pulsation beim Drehkolbenzähler hingewiesen worden. Turbinen-, Wirbel- und Drall-Durchflussmesser erfassen den Messwert nahezu trägheitslos, haben aber in den nachgeschalteten Messumformern Zeitglieder. Es kommt wieder zur Mittelwertbildung mit leicht vergrößertem Fehler. Turbinenzähler, die Gase messen, sind dann gefährdet, wenn ihre Drehzahl zu schnell ansteigt und beim Übertouren die Lager stärker verschleifen.

Bedingt durch das nichtlineare Verhältnis von Wirkdruck und Durchfluss verändert sich auch der durch Pulsation verursachte Fehler bei der Wirkdruckmessung unlinear. Deshalb ist eine Dämpfung unbedingt zu empfehlen, und zwar am besten durch Speichergefäße oder Windkessel in der Messmediumleitung. Mit Hilfe der Hodgson-Zahl lassen sich entsprechende Volumina berechnen. Kleinere Pulsationen verarbeiten aber auch die Wirkdruck-Messumformer durch Dämpfungsglieder.

Der Schwebekörper neigt bei Pulsation zum Tanzen. Deshalb muß auch hier gedämpft werden. Metallkonus-Schwebekörper-Durchflussmesser lassen sich mit Dämpfungsgliedern ausrüsten.

Rückflussmessung

Die extreme Form der Pulsation führt zum Rückfluss. Manche Rohrleitungen werden aber auch bewusst in beiden Fließrichtungen betrieben. Gibt es Messgeräte, die auch bei Rückfluss arbeiten?

Die unmittelbaren Zähler können selbstverständlich ihre Drehrichtung umkehren und rückwärts zählen, wenn sie sekundärseitig darauf vorbereitet sind. Am besten geeignet und auch eingestellt sind magnetisch-induktive und Masse-Durchflussmesser, die sämtliche Messwerte für beide Fließrichtungen liefern und sich automatisch umschalten.

Energieversorgung

Die Mess- und Regeltechnik arbeitet mit Messsignalen, die über große Entfernungen weitergeleitet werden müssen. Deshalb liefern alle Mengen- und Durchflussmesser entsprechende Ausgangsgrößen, zu deren Erzeugung eine Energieversorgung benötigt wird. Die Durchflussmesser brauchen zudem die Energieversorgung zur Eigenversorgung.

Zur ausschließlich örtlichen Anzeige kann man auf die Installation elektrischer Zuleitungen bei Zählern und beim Schwebekörper-Durchflussmesser verzichten.

In sehr wenigen Fällen arbeitet man mit pneumatischen Einheitssignalen 0,2 bis 1 bar. Dazu müssen die Messgeräte mit entsprechenden Messumformern ausgerüstet sein, denen als Energieversorgung Druckluft von 1,4 bar zugeführt wird. Pneumatische Messumformer gibt es in Wirkdruckmessgeräten und Schwebekörper-Durchflussmessern.

Erdung für magnetisch-induktive Durchflussmesser

Die Erdung nach VDE 0100 ist aus Sicherheitsgründen, sowie für die einwandfreie Funktion des Durchfluss-Messwertaufnehmers wichtig. Das an den Elektroden abgegriffene Messsignal beträgt nur einige Millivolt und kann von vagabundierenden Erdströmen, die über die Messstrecke fließen und eine bestimmte Größe überschreiten, beeinflusst werden. Die Erdungsschrauben des Messwertaufnehmers sind entsprechend VDE 0100, Teil 540, auf Funktionserdepotenzial (bei Ex-Ausführung nach VDE 0165 auf Potenzialausgleich) zu bringen. Aus messtechnischen Gründen sollte dies möglichst identisch mit dem Potenzial des Messmediums sein. Eine zusätzliche Erdung über die Anschlussklemmen (Energieversorgung) ist nicht erforderlich. Bei Kunststoffleitungen bzw. isoliert ausgekleideten Rohrleitungen erfolgt die Erdung über eine Erdungsscheibe oder Erdungselektroden. Wenn die Rohrstrecke nicht frei von vagabundierenden Fremdstörspannungen ist, ist es empfehlenswert, je eine Erdungsscheibe vor und hinter dem Durchflussmesser einzusetzen.

Erdungselektroden werden eingesetzt, wenn preisliche Vorteile den Ausschlag geben und wenn keine vagabundierenden Fremdstörspannungen vorhanden sind. Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Geräteausführungen mit Erdungselektroden spezifiziert werden können.

Eine Erdungsscheibe wird eingesetzt, wenn Kunststoffleitungen oder isolierte Rohrleitungen vorhanden sind und bei den Geräteausführungen, die nicht mit Erdungselektroden geliefert werden können.

Zwei Erdungsscheiben werden eingesetzt, bei isoliert ausgekleideten Rohrleitungen und wenn vagabundierende Fremdstörspannungen in der Rohrleitung auftreten können. Auch bei Kathodenschutz, wenn der Durchfluss-Messwertaufnehmer isoliert in der Rohrleitung eingebaut wurde und das Kathodenpotenzial umgeleitet wurde.

4.1.4 Leistungsvermögen und Eigenschaften der Messgeräte

		Messspanne	Messabweichung in % vom Messwert	Druckverlust bei q_{vmax} [bar]
unmittelbare Volumenzähler	Ovalradzähler	1:2...1:10	0,1...0,3	4
	Ringkolbenzähler	1:5...1:250	0,2...2	3
	Drehkolbenzähler	1:20 (1:50)	1	0,03
mittelbare Volumenzähler	Flügelradzähler	1:100...1:350	2...3	0,25...0,75
	Woltmanzähler	1:100...1:12500	2...3	0,005...0,5
	Turbinenradzähler	1:5...1:20	0,5 (Flüssigkeit) 1 (Gas)	0,5...1
	Wirbel-Durchfluss- messer	1:15...1:20	0,75 (Flüssigkeit) 1 (Gas)	0,9 (Wasser) 0,06 (Luft)
	Drall-Durchfluss- messer	1:15...1:25	0,5	0,7 (Wasser) 0,07 (Luft)
Durchflussmesser	Wirkdruck- Messverfahren	1:5 (1:10)	2	0,005...1 abhängig von Wirkdruck- und Öffnungsverhältnis
	Schwebekörper- Durchflussmesser	1:12	Klasse 1,6/2,5/6	0,005...0,2
	Magn.-induktiver Durchflussmesser	1:50	0,2	wie Rohrleitung
	Ultraschall- Durchflussmesser	1:10	1	wie Rohrleitung
	Coriolis Masse- Durchflussmesser	1:100	0,1	0,5...2
	Thermischer Masse- Durchflussmesser	1:40...1:150	1	0,002

Tab. 4-7: Leistungsvermögen

		bewegliche Teile	Verschleiß, Verschleißteile	Werkstoffwahl der messmediumberührten Teile	Reinig., Sterilisation
unmittelbare Volumenzähler	Ovalradzähler	Ovalräder, Getriebe	Lager, Zähnung	Ovalräder und Gehäuse aus Grauguss, CrNi-Stahl, Bronze, Lager aus Hartkohle, Niro	–
	Ringkolbenzähler	Ringkolben, Getriebe	Lager, Ringkolben	Gehäuse u. Messkammer aus Grauguss, CrNi-Stahl, Bronze, Duroplast, Ringkolben aus Grauguss, Hartgummi, Kohle, PCTFE, Tantal, Kunststoff	+
	Drehkolbenzähler	Drehkolben, Getriebe	Lager, Drehkolben	Kolben und Gehäuse aus Alu-Legierung oder Grauguss, Lager aus CrNi-Stahl	–
mittelbare Volumenzähler	Flügelradzähler	Flügelrad, Getriebe	Lager	Gehäuse aus Messing, Messeinsatz aus Kunststoff, Achsen aus CrNi-Stahl	–
	Woltmanzähler	Flügelrad, Getriebe	Lager	Gehäuse aus Grau- oder Sphäroguss, Flügelrad und Messeinsatz aus Kunststoff, Messing, CrNi-Stahl	–
	Turbinenradzähler	Rotor	Lager	Rotor und Gehäuse aus CrNi-Stahl, Lager aus Saphir, Wolframkarbid	–
	Wirbel-Durchflussmesser	keine	kaum Verschleiß	CrNi-Stahl, optional Wirbelkörper, Messwertaufnehmer oder komplettes Gehäuse aus Hastelloy C	+
	Drall-Durchflussmesser	keine		CrNi-Stahl, optional Ein- und Austrittsleitkörper, Messwertaufnehmer oder komplettes Gehäuse aus Hastelloy C	+
Durchflussmesser	Wirkdruck-Messverfahren	keine	Messkanten	CrNi-Stahl 1.4571	
	Schwebekörper-Durchflussmesser	Schwebekörper	Messkanten	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C, PTFE, PVDF, Glas	+
	Magn.-induktiver Durchflussmesser	keine	kaum Verschleiß	Auskleidung aus Hart-, Weichgummi, PFA, PTFE, Elektroden aus CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy, Tantal, Platin	++
	Ultraschall-Durchflussmesser	keine		CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C	++
	Coriolis Masse-Durchflussmesser	keine		CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C, CrNi-Stahl 1.4435	++
	Thermischer Masse-Durchflussmesser	keine		CrNi-Stahl, Hastelloy C, Keramik	++

Tab. 4-8: Fortsetzung Leistungsvermögen

		Messwertanzeige und Messwertübertragung								
		Örtl. Anzei-ger	Grenz-wert-kontakt	Strom-aus-gang	2-Ltr.-Tech-nik	Im-puls	Schnitt-stelle	HART	Ex-Schutz	Eich-zulassung
unmittelbare Volumenzähler	Ovalradzähler	ja	ja	n	n	ja	n	n	nicht erford.	Flüssig-keiten
	Ringkolbenzähler	ja	n	n	n	ja (Ex)	n	n	nicht erford.	Flüssig-keiten
	Drehkolbenzähler	ja	ja	n	n	ja	n	n	nicht erford.	Gase
mittelbare Volumenzähler	Flügelradzähler	ja	n	n	n	ja	n	n	nicht erford.	Wasser
	Woltmanzähler	ja	n	n	n	ja	n	n	nicht erford.	Wasser
	Turbinenradzähler	n	n	n	n	ja	n	n	ja	Flüssigk., Gase
	Wirbel-Durchfluss-messer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	n
	Drall-Durchfluss-messer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	n
Durchflussmesser	Wirkdruck-Messverfahren	ja	n	ja	ja	n	ja	ja	ja	n
	Schwebekörper-Durchflussmesser	ja	ja	ja	ja	ja	n	ja	ja	n
	Magnetisch-induktiver Durch-flussmesser	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Wasser, Lebensm. Chemik.
	Ultraschall-Durchflussmesser	ja	n	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Heiz-wasser
	Coriolis Masse-Durchflussmesser	ja	ja	ja	n	ja	ja	ja	ja	ja
	Thermischer Masse-Durchfluss-messer	ja	ja	ja	n	ja	ja	ja	ja	n

Tab. 4-9: Fortsetzung Leistungsvermögen

Messspanne

Die Messspanne der Ovalrad- und Ringkolbenzähler hängt von der Viskosität des Messmediums ab. Sie hat das Verhältnis 1:10 bei Viskositäten bis etwa 300 mPas und steigt an auf 1:20 bei $1 \cdot 10^4$ mPas. Gerade umgekehrt liegen die Verhältnisse bei den mittelbaren Zählern und Durchflussmessern. Mit steigender Viskosität steigt auch der lineare Anfangswert der Messung und verkleinert damit die Messspanne.

Wegen des quadratischen Verhältnisses zwischen Messgröße, Differenzdruck und Durchfluss hängt die Messspanne beim Wirkdruckverfahren von der geforderten Messgenauigkeit ab. Die Spanne 1:3 verspricht eine sehr gute Messgenauigkeit.

Magnetisch-induktive, Coriolis-Masse und Ultraschall-Durchflussmesser nehmen insofern eine Sonderstellung ein, weil bei ihnen die Messbereichsendwerte eingestellt und somit optimiert werden können. Thermische Masse-Durchflussmesser (Gasmessung) erreichen eine Messspanne bis 1:150.

Fehlergrenzen

Eine strittige Angabe ist die der Fehlergrenzen, weil sie von den Geräteherstellern für den Idealfall der Rahmenbedingungen angegeben werden. In der Praxis gibt es häufig Abweichungen vom Idealfall, so dass an die Messgenauigkeit des Messgerätes Zugeständnisse gemacht werden müssen. Wichtig ist auch der Hinweis, dass der Fehler einmal auf den aktuellen Messwert und einmal auf den Messbereichsendwert bezogen wird. In den Richtlinien VDI/VDE 2600 (4) werden Fehlerarten, Bezugsgrößen und Fehlverhalten definiert. Durch spezielle Kalibrierungen erzielt man verbesserte Messgenauigkeiten, die dann aber meist nur für einen begrenzten Zeitraum gelten. Wie überhaupt die Fehlergrenzen durch Verschmutzung, Verschleiß und durch Änderung der physikalischen Größen beeinflusst werden können.

Die in der Tabelle angegebenen Werte sind Fehler, die auf den aktuellen Messwert bezogen sind. Davon ausgenommen sind die Angaben zum Schwebekörper-Durchflussmesser, denn in VDI/VDE 3513 Blatt 2 wurden Genauigkeitsklassen geschaffen, die aus einer Kombination von messwertbezogenen und endwertbezogenen Fehlern bestehen. 75 % der als Genauigkeitsklasse angegebenen Zahl ist der Fehler in Prozent vom Messwert und 25 % der vom Messbereichsendwert (Skalenendwert).

Die Summe beider Größen ergibt die Genauigkeitsklasse 1 - 2,6 - 2,5 - 4 - 6 - 10.

Die Genauigkeit wird durch 2 Parameter G und qG definiert: Fehlergrenzwert G: Konstanter, zulässiger Fehler in % vom Messwert, der oberhalb der Linearitätsgrenze qG gültig ist. Linearitätsgrenze qG: Durchflussgrenze in % vom Messbereichsendwert, oberhalb derer der zulässige, relative Fehler konstant ist. Unterhalb der Linearitätsgrenze steigt der zulässige Messfehler mit kleiner werdendem Messwert umgekehrt proportional an.

Verschleiß

Verständlicherweise ist eine wichtige Forderung der Anwender die Langzeitsicherheit der Messung. Deshalb muss der mechanische Verschleiß klein gehalten werden.

Verschleiß wird vor allem durch Abrieb an den Messelementen (durch das Messmedium) und durch Lagerreibung sich bewegender Teile verursacht. Als ideales Messgerät kann man den magnetisch-induktiven Durchflussmesser ansehen, dessen glatte Rohrrinnenwand nur dann Verschleiß zeigt, wenn stark abrasive Messmedien, wie etwa Kalkmilch, Sand-Wasser-Gemisch oder Kohle-Wasser-Gemisch bei hydraulischem Feststofftransport, erfasst werden. Werden die Wandungen mit Polyurethan oder Weichgummi beschichtet, so bereiten selbst diese Messmedien kaum Schwierigkeiten.

Wirbel, Drall- und thermische Masse-Durchflussmesser haben zwar keine beweglichen Teile aber solche, die in die Messstrecke hineinragen. Feststoffteilchen im Messmedium dürfen eine bestimmte Größe, Härte und Kantenschärfe nicht überschreiten. Geringe Staubanteile in den Gasen oder Kunststoff Suspensionen sind durchaus zulässig.

Bei der Blendenmessung muss die Messkante scharf bleiben, denn schon geringe Veränderungen verursachen Messfehler. Deshalb kann man bei geringem Feststoffanteil im Messmedium im äußersten Fall eine Düse einsetzen. Schwierigkeiten bereiten dann trotzdem die Wirkdruckanschlüsse, die sich zusetzen können. Die Messkante am Schwebekörper ist ebenfalls präzise gefertigt, auch hier darf es nicht zur Beschädigung kommen.

Zu den letztgenannten Schwierigkeiten kommt der Lagerverschleiß bei den Zählern mit ihren drehenden Messkörpern hinzu. Kleinste Anteile von Festkörpern im Messmedium können diese Geräte zerstören. Ideal sind hier Messmedien, die eine gewisse Schmierfähigkeit besitzen.

Werkstoffe

Werkstoffauswahl bedeutet immer Klärung der Korrosionsprobleme. Manche Messmedien sind chemisch harmlos, werden aber auch durch geringe Anteile anderer Stoffe, vielleicht nur Verschmutzungen, aggressiv. Deshalb ist Sorgfalt geboten. Die Vielfalt der möglichen Werkstoffe ist besonders dort eingeschränkt, wo komplizierte und schwierig herzustellende Teile benötigt werden. Das trifft vor allem die Volumenzähler oder teilweise auch Drall-, Wirbel- und thermische Masse-Durchflussmesser.

Die Wirkdruckmessung erscheint auf den ersten Blick problemlos. Es ist aber nicht nur die Blendenscheibe oder die Düse aus einem edlen Werkstoff zu fertigen. Auch Wirkdruckleitung, Armaturen und Wirkdruckumformer müssen auf das Messmedium abgestimmt werden. Manchmal hilft man sich durch ständiges Spülen der Wirkdruckleitung.

Die Preisfrage stellt sich bei Schwebekörper-Durchflussmessern aus nichtrostendem Stahl. Sie werden nur dann eingesetzt, wenn an der Messstelle keine Energieversorgung zur Verfügung steht. Fast ideal ist das Werkstoffproblem beim magnetisch-induktiven Durchflussmesser gelöst, denn PTFE-Auskleidung lässt sich bei fast allen Messmedien verwenden. Als Elektrodenwerkstoff ist Platin herausragend gut. Möglicherweise löst man die Frage des Elektrodenwerkstoffes durch den kapazitiven Signalabgriff.

Der Ultraschall-Durchflussmesser benötigt das richtige Schutzrohr für den Schallwandler (Sender/Empfänger).

Reinigung, Sterilisation

Warum muss eine geschlossene Rohrleitung gereinigt werden? Dafür gibt es mehrere Gründe: Ablagerungen durch Sedimentation oder durch Adhäsion verengen den Querschnitt, Kristallbildung blockiert den Durchfluss, zurückgebliebene Reste verunreinigen das Produkt. Die Möglichkeit der Reinigung entscheidet bei der Auswahl des Messgerätes.

Dort wo Ablagerungen zu befürchten sind, lassen sich Geräte mit bewegten Teilen nur selten verwenden. Aber auch Einbauten, wie bei Drall-, Wirbel- und thermischen Masse-Durchflussmessern lassen Schwierigkeiten erwarten. Beim Ultraschall-Durchflussmesser verändert sich die Schallstrecke, so dass es zu Fehlmessungen kommt. Bei Coriolis Masse-Durchflussmessern können Ablagerungen zu einer Verschiebung des Nullpunktes führen. Den magnetisch-induktiven Durchflussmesser stört nur eine nichtleitende Ablagerung, und dann schafft es das gleiche Gerät mit kapazitivem Signalabgriff. Elektrisch leitfähige Ablagerungen schließen das Messsignal kurz und verursachen dadurch Fehlmessungen.

Ablagerungen entfernt man durch spülen, lösen oder durch mechanische Reinigung mittels Bürste oder Molch. Der freie Querschnitt bleibt bei dieser Arbeitsweise ein großer Vorteil. Der Molch verlangt sogar eine Rohrleitung mit definiertem Durchmesser ohne Stoßstellen. Diese Forderung lässt sich nur mit dem magnetisch-induktiven Durchflussmesser erfüllen, vielleicht auch mit dem Ultraschall-Durchflussmesser. Zu den in der Leitung verbleibenden Resten zählen vor allem Bakterien, die in der Lebensmittelindustrie das Produkt verderben. Gründliche Reinigung und Sterilisation durch Dampf, flüssige Reinigungsmittel, Säuren und Laugen ist deshalb unumgänglich. Das geschieht in der Regel im CIP-(cleaning in place) und SIP-(sterilisation in place) Verfahren, bei dem alle Anlagenteile in der Leitung verbleiben. Die CIP-Fähigkeit wird durch Versuche ermittelt und durch Zertifikate bestätigt. Der Ringkolbenzähler muss zur Reinigung demontiert werden.

4.1.5 Montage und Wartung

Der Anwender einer Messung wünscht sich den problemlosen Einbau des Messgerätes und will danach nur noch die genauen Messergebnisse sehen, das Gerät selbst interessiert nicht mehr. Wenn auch die moderne Technik diesem Ziel schon sehr stark nahe kommt, so sollten doch regelmäßige Kontrollen Ausfälle vermeiden. Deshalb gehört zur Auswahl eines Gerätes auch die Frage nach der Eignung des Wartungspersonals.

Der Einbau des Messgerätes in die Rohrleitung geschieht mit Flansch- oder Gewindeverbindungen unter Berücksichtigung der Ein- und Auslaufstrecken, z. B. Wirbel- und thermische Masse-Durchflussmesser, noch relativ problemlos. Allerdings steht an dieser Stelle teilweise die Forderung nach spannungsfreier Montage, denn sehr oft werden vorhandene Rohrleitungsspannungen im Messgerät aufgefangen. Zwischenflanschmontage verlangt eine exakte Zentrierung. Es gibt Ultraschall-Durchflussmesser, deren Messelemente (Sender/Empfänger) in die Wand der Rohrleitung eingeschweißt werden. Diese Methode liefert nur dann einwandfreie Messergebnisse, wenn durch örtliche Kalibrierung die Geometrie der Rohrleitung Berücksichtigung findet.

Bei Zählern und Schwebekörper-Durchflussmessern, die ohne externe Energieversorgung arbeiten, sind mit der Montage die wesentlichen Arbeiten abgeschlossen. Messwertaufnehmer und getrennte Messumformer kommunizieren mit schwachen störempfindlichen Signalen. Deshalb verlegt man abgeschirmte Spezialkabel. Durchflussmesser in kompakter Bauform umgehen diesen Aufwand.

Einen großen Montageaufwand beansprucht die Wirkdruckmessung. Wirkdruckleitungen und verschiedene Armaturen müssen montiert und befestigt werden. Der Differenzdruck-Messumformer benötigt externe Energieversorgung.

Alle Geräte sind so konzipiert, dass das Wartungspersonal die Funktionstreue direkt oder nach einem einfachen Test erkennen kann. Die meisten Geräte überwachen sich selbst und melden Fehler.

Den Verschleiß an Lagerstellen und Messorganen der drehenden Zähler kann man allerdings immer noch am besten visuell erkennen. Deshalb sind diese Zähler auch so gebaut, dass sie am Messort geöffnet werden können.

Der Einbau des magnetisch-induktiven Durchflussmessers muss axialsymmetrisch erfolgen, muss immer mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllt sein und darf nicht leer laufen. Eine Ausnahme ist der FXP4000. Dieser magnetisch-induktive Durchflussmesser ist für teilgefüllte Rohrleitungen geeignet. Falls ein leer laufen der Anlage nicht vermieden werden kann, werden ab DN 10 und bis zu einer Kabellänge von 50 m (bei getrennter Bauform) über einen externen Kontakt oder automatisch über eine „Leerrohr-Erkennung“ die Signalausgänge abgeschaltet. Somit werden Messfehler in der Messstrecke bei leerem Rohr vermieden.

Bei den meisten Installationen ist es ausreichend, eine gerade Einlaufstrecke von $3 \times D$ der Nennweite und eine Auslaufstrecke von $2 \times D$ der Nennweite des Messwertaufnehmers zu realisieren. Das sind Herstellerangaben. Nach Referenzbedingungen gemäß EN 29104, eichfähige Ausführungen oder DVGW-Richtlinien sind andere Strecken angegeben und einzuhalten.

Ventile oder andere Absperrorgane sollten in der Auslaufstrecke montiert werden. Eine leichte Steigung von ca. 3 % ist zur Entgasung günstig. Es sollte gewährleistet sein, dass die gedachte Verbindungslinie der beiden Elektroden möglichst waagerecht oder bis zu 45° installiert wird, damit keine Luft- oder Gasblasen die Messspannung, die an den Elektroden abgegriffen wird, beeinflussen kann.

Das Prüfsystem der magnetisch-induktiven Durchflussmesser ist optimal ausgebaut. Neben internen Testfunktionen gibt es Simulatoren, mit deren Hilfe sich fast alle Parameter überprüfen lassen.

		Arbeiten am Einbauort	Rohrleitung vor Einbauort	Wartung im Betrieb	Eigenüber- wachung	Service
unmittelbare Volumenzähler	Ovalradzähler	Flansch- verbindung	Filter	wartungsfrei	nicht möglich	örtliche Demon- tage möglich
	Ringkolbenzähler	Flansch- verbindung, Gewinde	Filter empfohlen, keine Beruhi- gungsstrecke	wartungsfrei	nicht möglich	
	Drehkolbenzähler	Flansch- verbindung	Filter	Schmierung überwachen	nicht möglich	
mittelbare Volumenzähler	Flügelradzähler	Flansch- verbindung, Gewinde	keine Beruhigungs- strecke	wartungsfrei	nicht möglich	Mess- einsatz- tausch möglich
	Woltmanzähler	Flansch- verbindung	keine Beruhigungs- strecke	wartungsfrei	nicht möglich	
	Turbinenradzähler	Flansch- verbindung, elektrische Installation	keine Beruhigungs- strecke	wartungs- frei, evtl. Fremd- schmierung überwachen	nicht möglich	Messwert- aufnehmer aus- tauschen
	Wirbel- Durchflussmesser	Flanschver- bindung oder Zwischen- flanscheinbau, elektrische Installation	lange Beruhigungs- strecke	wartungsfrei	ständige Plausi- bilitäts- und Fehler- über- wachung und Fehler- meldung	elektron. Kontroll- funktion und Test- werte, Messfüh- ler aus- tauschbar
	Drall- Durchflussmesser	Flansch- verbindung, elektrische Installation	kurze Beruhigungs- strecke	wartungsfrei		

Tab. 4-10: Bedienungsaufwand

		Arbeiten am Einbauort	Rohrleitung vor Einbauort	Wartung im Betrieb	Eigenüberwachung	Service
Durchflussmesser	Wirkdruck-Messverfahren	Geberzentriert einflanschen, Wirkdruckleitung, Armaturen, Messumformer, Energieversorgung	lange Ein-Auslaufstrecken	regelmäßige Kontrolle empfohlen	nicht möglich	Direktmessung am Geber
	Schwebekörper-Durchflussmesser	Flansch- oder Gewindeverbindung	keine Vorschriften	wartungsfrei	ständige Plausibilitäts- und Fehlerüberwachung	Glas-Durchflussmessung in „SNAP-IN“-Version
	Magn.-induktiver Durchflussmesser	Flanschverbindung, elektrische Installation	kurze Ein-Auslaufstrecken	wartungsfrei	und Fehlermeldung	el. Kontrollfunktion und Testwerte, Simulatoren
	Ultraschall-Durchflussmesser	Flanschverbindung, oder Einschweißstutzen, elektr. Installation	lange Ein-Auslaufstrecken	wartungsfrei	Signalisierung weniger Ausfallerscheinungen	
	Coriolis Masse-Durchflussmesser	Flanschverbindung, Wandbefestigung, elektr. Installation	keine Vorschriften	wartungsfrei	ständige Plausibilitäts- und Fehlerüberwachung und Fehlermeldung	elektronische Kontrollfunktionen und Testwerte
	Thermischer Masse-Durchflussmesser	Flansch-, Zwischenflanschmontage und Einsteckfühler	Ein-Auslaufstrecke	wartungsfrei	Fehlermeldung	Messfühler austauschbar

Tab. 4-11: Fortsetzung Bedienungsaufwand

4.2 Geräte für Gerinne und Freispiegelleitung

Die Vergleichstabelle (Tab. 4-12) ist nicht so umfangreich wie die der Geräte für die geschlossene Rohrleitung. Eine große Zahl von Parametern bezieht sich ausschließlich auf die Rohrleitung, und außerdem ist das Einsatzspektrum der hier betrachteten Geräte stark eingeschränkt. Gerinne und Freispiegelleitungen werden vorwiegend mit Wasser oder Abwasser betrieben, so dass nur diese Messmedien betrachtet werden.

Abwasser enthält oft eine Reihe von Nichtwasseranteilen, auf die beim Vergleich Rücksicht genommen werden muss. Chemisch aggressive Anteile spielen bei der Werkstoffauswahl eine wichtige Rolle. Feststoffanteile können die Messung verfälschen oder behindern. Deshalb ist wichtig, dass die Schleppkräfte des Wassers für den Weitertransport dieser Feststoffe ausreichen.

		Gerätegrößen	max. mögl. Durchfl.	Messspanne	Fehlergrenze	Messwertanzeige und -übertragung	Feststoffe im Messgut	Luft im Wasser	Strömungstechnische Einflüsse
offenes Gerinne	Messwehre	praktisch unbegrenzt	unbegrenzt	1:20 (1:100)	> 3 %	Bei entsprechender Auswahl der Messwertaufnehmer ergeben sich alle Möglichkeiten von der örtlichen Anzeige bis zum HART-Protokoll	Gefahr der Verlandung vor dem Wehr und des Ansatzes an der Überfallkante	Belüftung erforderlich, damit sich der Strahl an der Messkante ablöst	keine
	Venturi-Kanal	Breite in mm 220...3514	13.990 m³/h	1:10 bis 1:20	(Bauartkalibrierung) ± 6 % v. Messwert		keine Sedimentation, wenn Mindestgeschwindigkeit eingehalten wird	Entgasung im Zulauf	Einlaufstrecke von 20 x B gerade, glatt rechtwinklig
Freispiegelleitung	Magn.-indukt. Durchflussmesser im Düker	alle DN bis DN 2500	267.000 m³/h	1:50	± 0,25 % v. Messwert	Magn.-induktive Durchflussmesser bieten alle Möglichkeiten von der örtlichen Anzeige bis zur Schnittstelle und HART-Protokoll	Sedimentationsgefahr bei kleiner Fließgeschwindigkeit und schweren Teilen	Luft verhindern, andernfalls Fehlmessung	3 x D Einlaufstrecke
	PARTIMAG	DN 150 bis DN 2000	171.000 m³/h	1:100	TF: 5/3 % v. Messw. VF: 1 % v. Messw.	+ PROFIBUS + FF	keine Sedimentation	Entgasung im Einlauf	Einlaufstrecke: 5 x DN Auslaufstrecke: 3 x DN

Tab. 4-12: Geräte für Gerinne und Freispiegelleitung

4.2.1 Feststoffe im Messmedium

Wenn die Fließgeschwindigkeit im Stau vor dem Messwehr abnimmt, sinken mitgeführte Feststoffe zu Boden. Die Sedimente verändern die geometrischen Verhältnisse und führen zu Messfehlern. Schwimmende Teile verändern die Geometrie noch stärker oder sie verstopfen sogar den Messüberfall.

Der Venturi-Kanal beschleunigt die Flüssigkeit an der Einschnürungsstelle und treibt Feststoffe durch. Schwimmende Teile können den Niveauabgriff negativ beeinflussen. Schaumbildung verursacht Fehlmessungen, und zwar abhängig von der Type des verwendeten Messwertaufnehmers.

Im gedükerten Rohr kann es bei extrem niedriger Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation kommen, die aber keinen nennenswerten Messfehler verursacht. Erhöht sich die Geschwindigkeit, wird der Düker freigespült (eine Sandablagerung im geraden Rohr wird schon bei Geschwindigkeiten von $> 0,25$ m/s abgetragen).

4.2.2 Gasanteile

Gasanteile sind in der Regel Lufteinschlüsse. Da alle beschriebenen Messgeräte zum Zeitpunkt der Messung das Volumen erfassen, wird der Luftanteil im Wasser als Flüssigkeit angesprochen und verursacht einen um diesen Anteil vergrößerten Messwert.

Am Messwehr ist die Belüftung durch seitliche Luftzufuhr notwendig, damit sich der Überfallstrahl von der Messkante ablöst und nicht durch Sogwirkung an der Wehraußenseite festgehalten wird. Diese Belüftung bewirkt aber keine Lufteinschlüsse an der Füllstandsmessstelle ca. 4 h vor der Wehrkante. Grundsätzlich gilt, dass Gerinnemessungen nur sehr selten durch Lufteinschlüsse gestört werden.

Auch beim FXP4000 entgast das Messmedium innerhalb der Einlaufstrecke. Besteht allerdings die Möglichkeit, dass bei vollgefülltem Rohr Luft im Wasser verbleibt, so kann die Luft vor der Messzone nicht mehr entweichen. Es entstehen Messfehler.

Beim Düker dagegen könnte durch Wirbelbildung im Einlauf Luft angesaugt werden. Durch Anheben des Wasserspiegels vor dem Düker (Vorschacht) lässt sich dieser Effekt verhindern. Wenn das zuströmende Wasser als freier Strahl in einen Vorschacht fällt, hat das die gleiche Wirkung: Lufteinzug.

4.2.3 Strömungstechnische Einflüsse

Die Strömungseinflüsse in der geschlossenen Rohrleitung wurden unter Kapitel 4.1.2 angesprochen. Die Angaben gelten natürlich auch hier, speziell für den magnetisch-induktiven Durchflussmesser im Düker. Ein weiterer Parameter erschwert die Messung an Gerinnen, nämlich die Beschaffenheit der Flüssigkeitsoberfläche, denn Wellenbewegungen am Sitz des Messwertaufnehmers gehen in das Messergebnis ein. Das Messwehr ist nicht so empfindlich wie der Venturi-Kanal.

Der Venturi-Kanal staut in der Einlaufstrecke das Wasser etwas zurück und beruhigt damit die Oberfläche, zumal strömendes Fließverhalten eine Messbedingung ist. Die Einlaufstrecke soll geradlinig verlaufen bei gleich bleibendem Gerinnequerschnitt ohne Unebenheiten. Der Abstand eines Wechselsprungs vor dem Venturi-Kanal muss mindestens $20 \times B$ (Kanalbreite) betragen. An die Auslaufseite, dem Unterwasser, stellt sich die Forderung, dass es in keinem Fall zu einem Rückstau kommt, der in den Venturi-Kanal zurückwirkt, denn dann entstünde ein Höhenstand am Messpunkt, der einen großen Durchfluss vortäuscht. Der Parshall-Kanal lässt etwas Rückstau zu.

Dieser Rückstau lässt sich messtechnisch ideal im magnetisch-induktiven Durchflussmesser FXP4000 für teilgefüllte Rohrleitungen verarbeiten, weil dieses Gerät die benetzte Querschnittsfläche und die Fließgeschwindigkeit in Kombination dynamisch erfasst. Das bedeutet, dass bei Stillstand der Flüssigkeit kein Messsignal entsteht. Der FXP4000 misst in beiden Fließrichtungen. Er kann also auch den Rückfluss erfassen.

Die Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des durchflossenen Querschnitts im FXP4000 sollte annähernd egalisiert sein. Deshalb bevorzugt man den strömenden Fließzustand und vermeidet die Unregelmäßigkeiten, die beispielsweise durch einen nahen Wechselsprung verursacht werden. Nachstehend einige Beispiele für die zweckmäßige Leitungsführung:

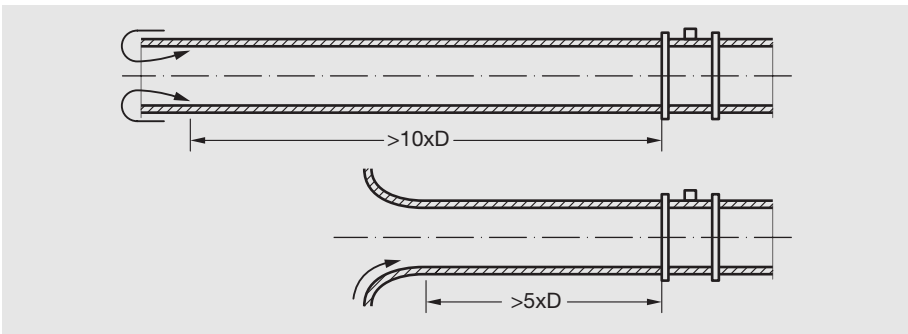


Bild 4-15: Rohreinlauf

Wird ein Rohr wie in Bild 4-15 stumpf angeströmt, so entstehen in den wandnahen Zonen des Einlaufs Ablösungserscheinungen mit Wirbelbildung. Je nach Rohrrauigkeit sind $15 \times D$ (Rohrnennweite) und mehr erforderlich, damit die Messzone beruhigt ist. Ein strömungsgünstiger Einlauf, ähnlich einer Trompetenöffnung, gestattet die Verkürzung der Einlaufstrecke.

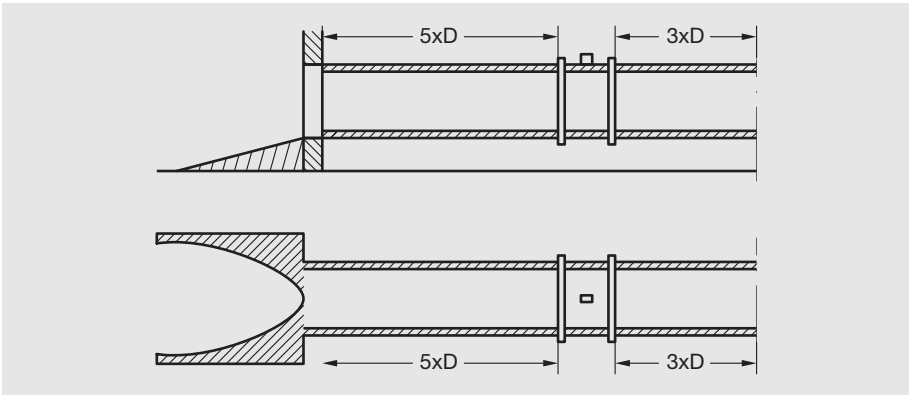


Bild 4-16: Übergang vom Rechteck auf Kreisquerschnitt

Der FXP4000 erspart Bauwerke und kann daher an vielen Stellen eingebaut werden. Die Anpassung an den Kreisquerschnitt ist sehr wichtig wegen der an dieser Stelle entstehenden Wellen und Wirbel. Ein Beispiel dafür ist der Übergang vom Rechteckquerschnitt zum Kreisquerschnitt (Bild 4-16). Sanfte Übergänge sind gewünscht, und ein wichtiger Gesichtspunkt ist die durchgehende Sohle auch im FXP4000. Beckenübergänge beginnen bereits im Beckenboden mit einer Rinne.

Auch beim Einbau in runde Kanäle muss Sohlengleichheit angestrebt werden. Je mehr sich der Kanalquerschnitt der Ei-Form annähert, umso besser kann der FXP4000 eingepasst werden (Bild 4-17). Auch hier ist der strömungsgünstigste Übergang anzustreben.

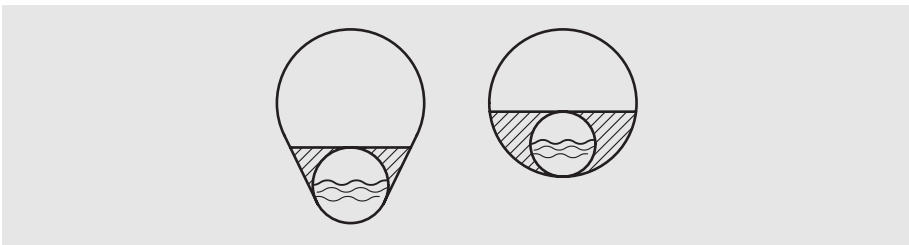


Bild 4-17: Übergang bei runden Querschnitten

Ganz wichtig ist die Betrachtung der Leitungsverhältnisse weit vor der Messstelle. Ein rechtwinklig angeordneter seitlicher Zufluss erzeugt Wirbel, die sich auch nach einer $15 \times D$ langen Strecke nicht beruhigt haben (Bild 4-18). Ein Überfallwehr an der Einlaufstelle sorgt für ein erträgliches Strömungsprofil.

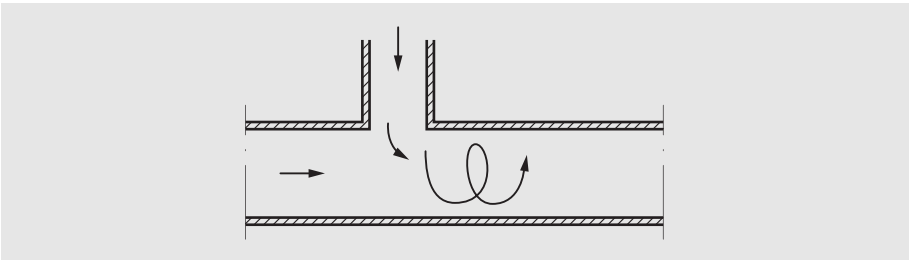


Bild 4-18: Teilgefüllter Kanal mit rechtwinklig angeordnetem seitlichen Zufluss (Draufsicht)

Schießender Zulauf muss sicher in den strömenden Fließzustand gewandelt werden.

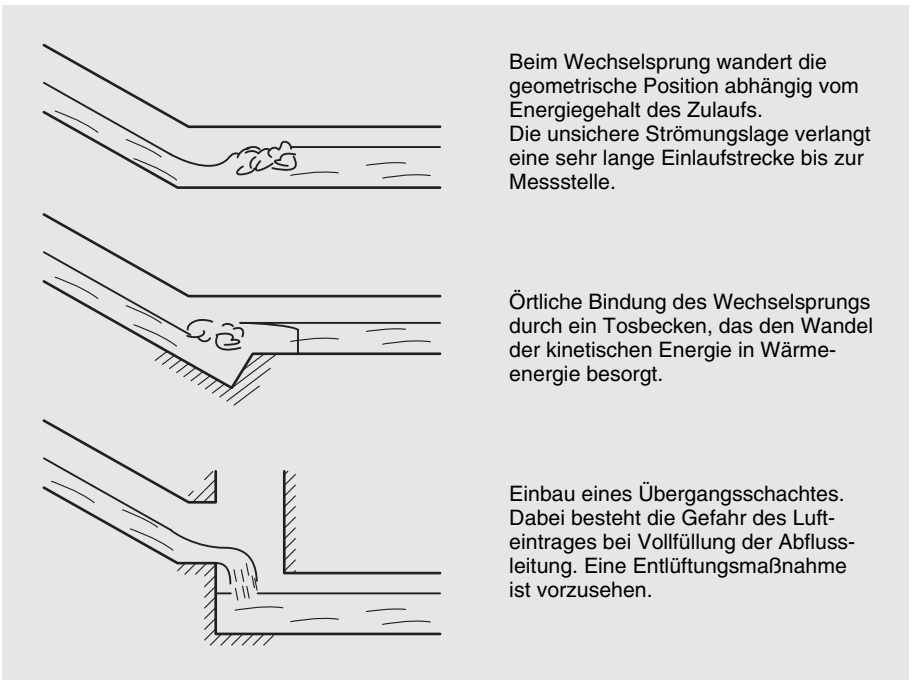


Bild 4-19: Schießender Zulauf

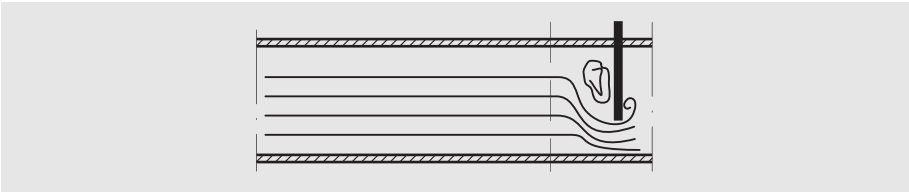


Bild 4-20: Flachschieber in der Auslaufstrecke

Der Schieber in der Leitung (Bild 4-20) erzeugt einen instationären Strömungszustand. Die hydromechanische Rückwirkung stromaufwärts ist allerdings gering. Daher liegt die Messstelle immer vor dem Schieber mit einer Entfernung von 1 bis 3 x D.

Die Rückwirkung von Störstellen hinter dem FXP4000 ist relativ gering, so dass in der Regel kurze Auslaufstrecken ausreichen. Als Beispiel sei hier der freie Absturz (Bild 4-21) angesprochen.

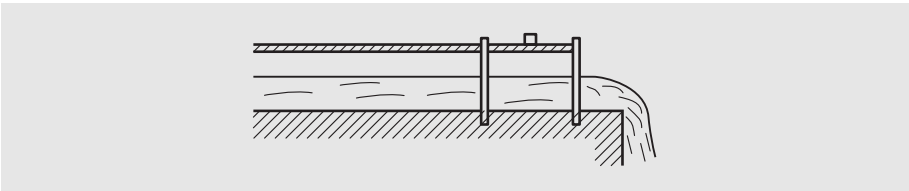


Bild 4-21: Freier Absturz hinter der Messstelle

Natürlich muss die Entfernung so groß sein, dass die Absenkungskurve der Wasseroberfläche nicht in das Messrohr zurückreicht. Die Entfernung von 3 x D reicht meistens aus.

Gelegentlich muss man hinter einem Gerinnekrümmer mit möglicherweise geneigter Sohle messen (Bild 4-22). Die Zentrifugalkräfte bewirken eine geneigte Wasseroberfläche und querlaufende Sekundärströmungen. Die örtlichen Verhältnisse bestimmen eine mögliche Fehlmessung.



Bild 4-22: Querschnitt durch Gerinnekrümmer

5 Markante Merkmale der Messgeräte im Überblick

5.1 Ovalradzähler, Ringkolbenzähler

Vorteile:

- hohe Messgenauigkeit
- einsetzbar für Messmedien mit hoher Viskosität
- arbeitet in beiden Fließrichtungen (Vor- und Rücklauf)
- kein Strömungsprofileinfluss, daher keine Ein-Auslaufstrecken
- keine externe Energieversorgung
- eichamtlich zugelassen

Einschränkungen:

- Volumenzähler
- nur für Flüssigkeiten
- großer Druckverlust
- bewegliche Teile, Verschleiß
- bei geringer Viskosität Fehlervergrößerung durch Spaltverluste
- empfindlich gegen Verschmutzung, Filter erforderlich
- Durchflussblockade bei Stillstand durch Verschmutzung
- empfindlich gegen Überlastung
- Überwachung und Wartung

5.2 Drehkolbenzähler

Vorteile:

- hervorragende Messgenauigkeit für die Gasmessung
- keine Ein-Auslaufstrecken
- keine externe Energieversorgung
- eichamtlich zugelassen

Einschränkungen:

- Volumenzähler
- ausschließlich für Gase
- bewegliche Teile, Verschleiß
- Durchflussblockade bei Stillstand durch Verunreinigung
- träge gegenüber schnellen Änderungen
- aber auch empfindlich gegenüber schnellen Änderungen bei großem Differenzdruck, Gefahr des Überdrehens
- Überwachung

5.3 Turbinenzähler

Vorteile:

- keine externe Energieversorgung bei Flügelrad und Woltman
- eichamtliche Zulassung für Wasser bei Flügelrad und Woltman
- Turbinenrad verwendbar für kryogene Flüssigkeit
- Turbinenrad einsetzbar bei extremen Temperaturen und Drücken
- eichamtliche Gas-Zulassung für Turbinenrad

Einschränkungen:

- begrenzte Werkstoffauswahl
- nur für geringe Viskositäten
- bewegliche Teile, Verschleiß
- empfindlich gegen Verschmutzung
- axial in Strömungsrichtung liegende Zähler sind abhängig vom Strömungsprofil
- Ein-Auslaufstrecke (nicht bei Flügelrad)
- empfindlich gegen Überlast und schnelle Änderung bei großem Differenzdruck, Gefahr des Überdrehens
- empfindlich gegen Vibration

5.4 Wirbel-Durchflussmesser

Vorteile:

- keine beweglichen Teile
- robuster Aufbau
- einsetzbar bei Flüssigkeit, Gas, Dampf
- leicht sterilisierbar
- unabhängig von Druck-, Temperatur-, Dichteänderung
- lineares Verhältnis zwischen Durchfluss und Messwert

Einschränkungen:

- Ein-Auslaufstrecken
- Mindest-Reynoldszahl erforderlich

5.5 Drall-Durchflussmesser

Vorteile:

- keine beweglichen Teile
- kurze Ein-Auslaufstrecken $\rightarrow 3 \times D/1 \times D$
- einsetzbar bei Flüssigkeit, Gas, Dampf
- hervorragende Reproduzierbarkeit
- unabhängig von Druck-, Temperatur-, Dichteänderung

Einschränkungen:

- Druckverlust
- Mindest-Reynoldszahl erforderlich

5.6 Wirkdruck-Messverfahren

Vorteile:

- universell verwendbar für Flüssigkeit, Gas, Dampf
- auch in Extremfällen, z. B. Viskosität, einsetzbar wegen unterschiedlicher Varianten
- Berechnungsmöglichkeiten für außergewöhnliche Fälle
- einsetzbar bei extremen Temperaturen und Drücken
- Bereichsänderung möglich
- niedriger Druckverlust in Düsen

Einschränkungen:

- quadratischer Zusammenhang zwischen Durchfluss und Messgröße Wirkdruck, daher kleine Spanne
- Einfluss von Druck- und Dichteänderung
- Druckverlust bei Blende
- Kantenschärfe der Blende muss sichergestellt sein, daher keine Feststoffe oder Verschmutzung
- sehr lange Ein-Auslaufstrecken
- aufwendige Installation durch Wirkdruckleitung, Armaturen und Messwertaufnehmer
- Montage- und Wartungserfahrung zweckmäßig
- wartungsintensiv

5.7 Schwebekörper-Durchflussmesser

Vorteile:

- preiswert
- keine externe Energieversorgung bei örtlicher Anzeige
- einsetzbar für Flüssigkeit, Gas, Dampf
- keine Ein-Auslaufstrecken
- einfacher Geräteaufbau, daher montage- und wartungsfreundlich
- Anzeige auch bei undurchsichtigen Flüssigkeiten
- Metallkonusgerät mit Messumformer
- Metallkonusgerät sterilisierbar, CIP-geprüft

Einschränkungen:

- senkrechte Einbaulage
- konstanter Druckverlust
- Einfluss von Dichte-, Temperatur-, Viskositätsänderungen
- Feststoffe beschädigen Messkante, ansonsten leichte Verschmutzung zulässig
- empfindlich gegen Pulsation und Vibration
- teuer bei Verwendung exotischer Werkstoffe

5.8 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser

Vorteile:

- freier Rohrquerschnitt ohne hereinragende Teile
- keine beweglichen Teile
- kein zusätzlicher Druckverlust
- weitgehend strömungsunabhängig, deshalb geringe Ein-Auslaufstrecke
- kein Einfluss der Änderung von Temperatur, Dichte, Viskosität, Konzentration, elektrische Leitfähigkeit
- günstige Werkstoffwahl bei chemisch aggressiven und bei abrasiven Messmedien
- unempfindlich gegen Verschmutzung, Sedimentation
- besonders geeignet für hydraulischen Feststofftransport
- sterilisierbar, CIP-geprüft
- linearer Zusammenhang zwischen Durchfluss und Messgröße
- arbeitet in beiden Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- Messbereich optimierend einstellbar
- wartungsarm und wartungsfreundlich
- eichamtlich zugelassen

Einschränkungen:

- nur bei Flüssigkeiten
- untere Leitfähigkeitsgrenze $0,05 \mu\text{S/cm}$
- Gasanteile verursachen Fehler

5.9 Ultraschall-Durchflussmesser

Vorteile:

- freier Rohrquerschnitt
- keine beweglichen Teile
- kein zusätzlicher Druckverlust
- günstige Werkstoffauswahl bei chemisch aggressiven Flüssigkeiten
- linearer Zusammenhang zwischen Durchfluss und Messgröße
- wartungsarm
- arbeitet in beiden Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- beim Laufzeitverfahren kein Einfluss von Temperatur, Dichte, Konzentration
- nachträglicher Einbau ins Rohr mit Einzelelementen möglich, aber örtliche Kalibrierung

Einschränkungen:

- für Flüssigkeiten, Gasmessung noch anfällig
- Schallstrahl muss querschnittsrepräsentativ messen, deshalb sehr strömungsprofilabhängig. Lange Ein-Auslaufstrecke
- Fehler bei Ablagerungen
- Laufzeitverfahren nur bei sauberen Flüssigkeiten
- Doppler-Verfahren nur bei leichter Verschmutzung oder mit wenig Gasblasen
- beim Doppler-Verfahren Einfluss von Schallgeschwindigkeitsänderungen durch Temperatur, Dichte, Konzentration
- ungeeignet für stark verschmutzte Flüssigkeiten
- Fehler durch Gasblasen

5.10 Coriolis Masse-Durchflussmesser

Vorteile:

- echte Massemessung
- zusätzliche Temperatur- und Dichtemessung
- sehr gute Genauigkeit für Massedurchfluss
- hochgenaue Dichtemessung
- unabhängig von Druck, Temperatur, Viskosität
- keine Ein-Auslaufstrecken
- arbeitet in beide Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- sterilisierbar, CIP-geprüft, EHEDG zertifiziert
- Messbereiche für Durchfluss und Dichte optimierend einstellbar
- selbstentleerend

Einschränkungen:

- Gasanteile stören
- vibrationsempfindlich bei unsachgemäßer Befestigung
- Werkstoffauswahl begrenzt
- Nennweitenbegrenzung nach oben

5.11 Thermischer Masse-Durchflussmesser

Vorteile:

- direkte Massemessung für Gase
- keine Druck- und Temperaturkompensation
- sehr geringer Druckverlust
- hohe Messgenauigkeit
- große Messspanne
- keine beweglichen Teile
- robuster Aufbau
- schnelle Ansprechzeit
- leicht sterilisierbar

Einschränkungen:

- nur für Gase
- Ein-Auslaufstrecken

5.12 Messwehr

Vorteile:

- einfacher Aufbau
- geringer Platzbedarf am Messort
- geringer baulicher Aufwand

Einschränkungen:

- Aufstau, dadurch Platzbedarf vor dem Messort
- Gefahr der Ablagerung und Sedimentation vor dem Wehr, keine Messmethode für Abwasser
- Strahlablösung durch Belüftung sicherstellen
- anfällig gegen größere Schwimmteile

5.13 Venturi-Kanal

Vorteil:

- kleine Energiehöhendifferenz gegenüber dem Wehr
- kleiner Druckverlust
- geeignet für verschmutztes Abwasser
- problemlose Wartung

Einschränkungen:

- nichtlineare Kennlinie
- Kanaleinengung, dadurch Aufstau des Oberwassers und Sedimentations-Gefahr bei Geschwindigkeitsverminderung
- Verstopfungsgefahr durch sperrige Schwimmteile
- Messung versagt bei Rückstau des Unterwassers bis in den Venturi-Kanal
- Güte und Zuverlässigkeit der Messung ist abhängig vom nachgeschalteten Messwertaufnehmer
- Installationskosten

5.14 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser im Düker

Vorteile:

- alle Vorteile des magnetisch-induktiven Durchflussmessers wie unter Punkt 5.8
- kleine Nennweite gegen FXP4000, preiswerter
- genauer als FXP4000

Einschränkungen:

- Bauwerk erforderlich, teuer
- gegen FXP4000 größerer Druckverlust
- Sedimentationsgefahr bei zu kleiner Fließgeschwindigkeit

5.15 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser FXP4000 für teilgefüllte Rohrleitungen

Vorteile:

- alle Vorteile des magnetisch-induktiven Durchflussmessers wie unter Punkt 5.8
- keine Dükerung erforderlich
- keine Kalibrierung vor Ort erforderlich
- freier Durchgang, keine Kabel oder mechanischen Einbauten innerhalb des Rohrquerschnittes
- kein zusätzlicher Druckverlust
- direkter Einbau in Freispiegelleitung
- einfache Reinigung
- Rückstau ist zulässig
- keine Ablagerungsgefahr, wie vom Düker bekannt
- keine Einschnürung im Messsystem, dadurch kein Rückstau in Freispiegelleitungen
- kurze Ein-/Auslaufstrecken

Einschränkungen:

- kleinste Nennweite: DN 150

6 **Stichworte zu Betriebsbedingungen und Anforderungen an die Messstelle**

Wird eine Messstelle geplant, so ergibt sich deren Notwendigkeit aus dem gewünschten Messeffekt. Das Messgerät soll also entweder selbst etwas aussagen (z. B. örtliche Anzeige) oder eine Funktion unterstützen (z. B. als Istwertgeber für einen Regler). Der Planer beginnt seine Recherchen für die Geräteauswahl bei den Betriebsbedingungen. Er stellt die Fragen nach dem Messmedium, nach den örtlichen Gegebenheiten und stellt die Forderung nach der Darstellung des Messwertes. Dazu nachstehende Stichwortzusammenstellung:

Beschaffenheit des Messmediums:

- Gas, Dampf: trocken, feucht
- Flüssigkeit: Gasanteil, Feststoffe, ablagernde kristallisierende Inhaltsstoffe, Staub im Gas
- Dichte
- Temperatur, Temperaturänderung, zeitlicher Ablauf
- Viskosität
- elektrische Leitfähigkeit, der Ablagerung
- chemische Aggressivität, Werkstoffauswahl
- Abriebgefahr

Betriebsbedingungen:

- Nennweite der Rohrleitung
- Ausbildung des Gerinnes, Gefälle, Rückstau
- Druckstufe
- Durchfluss, kleinster, größter Wert; Änderungsgeschwindigkeit (stoßförmige Änderung)
- Strömungsverhältnisse: lineare, turbulente Strömung
Geschwindigkeitsverteilung, Drall, Pulsation
- beide Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- statischer Druck, Druckstoß, Druckverlust zulässig

örtliche Gegebenheiten:

- Umgebungstemperatur
- Feuchtigkeitseinfluss, Schutzart
- Staubeinwirkung, Schutzart
- Vibration
- Leitungsbeschaffenheit vor und hinter der Messstelle
- Explosionsschutz
- Energieversorgung, Leitungsführung
- Einstreuung elektrischer Störungen
- Befestigungsmöglichkeit

Darstellung des Messwertes:

- Messgenauigkeit
- fester, einstellbarer Messbereich intern, extern
- interne, externe Kontrollmöglichkeit
- örtliche Anzeige
- Zählung, Integration
- Grenzwertgeber
- analoges Einheitssignal, welche Werte?
- Impulsausgang zur Fernzählung
- Kommunikation, welche?
 - PROFIBUS, FOUNDATION Fieldbus
 - HART-Protokoll
- Explosionsschutz
- Eichfähigkeit

7 Normen und Regelwerke

DIN 1319	Grundbegriffe der Messtechnik
DIN ISO 6817	Durchflussmessung von leitfähigen Flüssigkeiten
DIN ISO 9104	Durchflussmessung von Fluiden
DIN 1952	Durchflussmessung mit Blenden, Düsen, Venturi-Rohren
DIN 19559	Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen
VDE/VDI 3512	Durchflussmessungen mit Drosselgeräten, Messanordnungen
VDE/VDI 2040	Berechnungsgrundlagen für die Durchflussmessung mit Drosselgeräten
EN 60529	IP-Schutzarten
EN 29104	Verfahren zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräten
DIN VDE 0170/017	Bestimmung für explosiongeschützte elektrische Betriebsmittel
DIN VDE 0165	Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
DIN EN 50014 bis 50020 und 50028	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche
NAMUR NE 21	NAMUR-Empfehlung Elektro-magnetische Verträglichkeit

8 Werkstoffe, Beständigkeitstabelle

Zur Auswahl eines Messgerätes gehört auch die Bestimmung der einzusetzenden Werkstoffe. Dabei interessieren natürlich in erster Linie die mit dem Messmedium in Berührung kommenden Materialien. Aber auch die Umgebungsatmosphäre darf nicht vernachlässigt werden, wobei die Feuchtigkeit am häufigsten zu beachten ist.

Im allgemeinen kennt der Anwender seine Messmedien so gut, dass er auch die Werkstoffe mühelos bestimmen kann. Die nachstehende Tabelle gibt dazu Hilfestellung. Die angegebenen Hinweise sind den Resistenzlisten der Hersteller entnommen. Eine Garantie für die Vollständigkeit und Richtigkeit kann nicht übernommen werden.

Die folgende Aufstellung beinhaltet die Varianten der in den einzelnen Messgeräten mit dem Messmedium in Berührung kommenden Werkstoffe.

Wirbel-Durchflussmesser:

Messrohr:	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C
Fühler:	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C
Stör-/Leitkörper:	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C
Dichtung:	Graphit, PTFE, Viton A, Kalrez

Drall-Durchflussmesser:

Messrohr:	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C
Fühler:	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C
Stör-/Leitkörper:	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C
Dichtung:	Graphit, PTFE, Viton A, Kalrez

Magnetisch-induktiver Durchflussmesser:

Auskleidung	Hartgummi, Weichgummi, PFA, PTFE, Torlon, Peek, PVDF, Ceramic Carbide
Elektroden	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy B, Hastelloy C, CrNi-Stahl 1.4539, Titan, Tantal, Platin Ir.

Coriolis Masse-Durchflussmesser:

Messrohr	CrNi-Stahl 1.4571, 1.4435, Hastelloy C
----------	--

Thermischer Masse-Durchflussmesser

Messrohr	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy
Fühler	CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy, Keramik Al_2O_3
Dichtung	Viton, Kalrez

Schwebekörper-Durchflussmesser:

Messrohr	Glas, Hastelloy C, PTFE, CrNi-Stahl 1.4404
Schwebekörper	Glas, CrNi-Stahl 1.4571, Hastelloy C, PVDF, PTFE
Fittinge	CrNi-Stahl 1.4301, PVC, Hastelloy C
O-Ringe	Buna N, Viton A, Ethylen/ Propylen = EPDM

Zur Handhabung der folgenden Beständigkeitstabelle:

- + bedeutet verwendbarer Werkstoff
- bedeutet ungeeigneter Werkstoff
- offene Felder bezeichnen unbekannte Beständigkeiten

Bei den metallischen Werkstoffen kann eine Resistenz durchaus gegeben sein. Aufgrund elektrochemischer Reaktionen kann sich bei einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser eine Fehlfunktion einstellen.

Haftungshinweis:

Diese Beständigkeitstabelle für ABB-Durchflussmessgeräte ist aus Literaturangaben und eigenen Erfahrungen zusammengestellt. Sie soll eine Vorauswahl der für einen bestimmten Einsatzfall geeigneten, bzw. die Ausscheidung von vornherein ungeeigneten Werkstoffen ermöglichen.

Die Angaben sind lediglich Empfehlungen, für die keine Garantie übernommen wird, da das Korrosionsverhalten unter Betriebsbedingungen von Laborversuchen mit reinen Messmedien abweichen kann. Zur Ermittlung zuverlässiger Unterlagen sind Betriebskorrosionsversuche, bzw. die Betriebserfahrung des Anwenders, erforderlich.

Die Angaben beziehen sich auf ebenmäßigen Korrosionsangriff. Die Gefahr örtlichen Korrosionsangriffs (Lochfraß, Spannungsrisskorrosion) wird nicht berücksichtigt.

	Gasförmig/Flüssig	Elektrische Leitfähigkeit	Konzentration (%)	Temperatur (°C)	Metalle								Nichtmetalle									
					CrNi-Stahl 1.4301	CrNi-Stahl 1.4539	CrNi-Stahl 1.4541	CrNi-Stahl 1.4571	Hastelloy B	Hastelloy C	Titan	Tantal	Platin	Hartgummi	Weichgummi	PFA	PTFE	EPDM	Buna N	Viton A	PVDF	PVC
Aceton	F	-	100	40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Acetylen	G	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+
Äthan	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+		-	-	+
Äthanol	F	-	96	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-		+
Äthylacetat	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+
Äthylalkohol	F	-	100	78	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		-	+	+
Äthyläther	F	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+		+	+
Äthylen	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+		+	+
Äthylenchlorid	F	-	100	50	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+		-	+
Äthylenglykol	F	+	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+			-	-	+
Alum.chlorid-Lösung	F	+	30	70	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+			+		+	+
Alum.chlorid-Lösung	F	+	80	70	-	-	-	-	+	-	-	+	+			+			+		+	+
Alum.sulfat-Lösung	F	+	20	50	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+			+			+
Alum.sulfat-Lösung	F	+	50	50	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+		+			+
Ameisensäure	F	+	100	80	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+		+	+
Ammoniak	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+
Ammoniak-Lösung	F	+	25	50	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+		+	+
Anilin	F	-	100	25	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+		+		-	+
Apfelsäure	F	+	50	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Argon	G	-	100	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Benzin	F	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-		+	+	+
Benzol	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-		-	-	+
Bier	F	+		10	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+		+
Bierwürze	F	+		5	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+		+
Blausäure (Zyanw.stoff)	F	+	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+			+		+
Blut	F	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+	+	+
Brom	F	-	100	20	-	-	-	-	+	-	+	+	+			+	+			+		+
Bromwasserstoffsäure	F	+	48	50	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-		+		+
Butan	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	-	+	+	-	+
Butylacetat	F		100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		-	+	+
Butylalkohol	F	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+	+		+
Butylen	G	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+		+
Calciumchlorid-Lösung	F	+	100	20	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

											Metalle						Nichtmetalle									
											CrNi-Stahl 1.4301	CrNi-Stahl 1.4539	CrNi-Stahl 1.4541	CrNi-Stahl 1.4571	Hasteloy B	Hasteloy C	Titan	Tantal	Platin	Hartgummi	Weichgummi	PFA	PTFE	EPDM	Buna N	Viton A
Calciumhydroxid-Lösg.	F	+	50	50	+	+	+	+	+	+	+			+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Calciumhypochlorid-L.	F	+	20	50	-	-	-	-	-	+	+	+	+				+	+	+		+			+	+	+
Caprolactam	F	-	50	50				+	+	+	+			+	+	-								+	+	+
Carbonsäure, verdünnt	F	-		50			+	+	+	+	+	+	+		+	+	+					+	-	+	+	+
Chlor, trocken	G	-	100	20	+	+	+	+	-	+		+		+	-	+	+	+	-		+	+	+	+	+	+
Chlor, feucht	G	-	100	20	-	+	-	-	-	+		+		-	-	+	+	+	-		+	+	+	+	+	+
Chlor, trocken	F	-	100	20	+	+	+	+	-	+		+	+	-	-	+	+	+	-		+	+	-	+	+	+
Chlordioxid, trocken	G	-	100	20	+					+		+	+	-	-	+	+				+		+	+	+	+
Chlorwasser	F	+	100	20	-	-	-			+		+		-	-	+	+	+	+		+	+	-	+	+	+
Chlorwasserstoff	G	-	100	20	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+		+		+	+	+
Deionat	F	-				+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Diesel	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
Eisen-III-chlorid-Lösung	F	+	3	20	-	+	-	-	-	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eisen-III-chlorid-Lösung	F	+	10	20	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eisen-III-sulfat-Lösung	F	+	10	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Erdgas, trocken	G	-	100	40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+		+	+	+	+
Essigsäure	F	+	50	80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+			+	-	+	+
Essigsäureanhydrid	F	+	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+						+	+	+	+
Fettsäure	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+			+		+	+	+
Fluor	G	-	100	20	+	+	+	+	-	+		-				+	+	-				+	+	-	-	
Flusssäure	F	+	40	20	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
Flusssäure	F	+	70	20	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
Formaldehyd-Lösung	F	+	40	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-		+	+	+	+	+	+
Fotoemulsion	F	+		20	+	+	+	+		+			+			+	+								+	+
Gelantine	F	+		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Gerbsäure	F	+	50	50			+	+		+				+	+	+	+	+	-				-		+	+
Glykol	F	-	100	50				+	+	+	+	+	+			+	+					+	+		+	+
Glyzerin	F	-	100	100	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	-	+	+	-			+	-	-	+	+
Harnstoff	F	+	30	50			+			+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Hefe	F	+		20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+

	Gasförmig/Flüssig	Elektrische Leitfähigkeit	Konzentration (%)	Temperatur (°C)	Metalle							Nichtmetalle													
					CrNi-Stahl 1.4301	CrNi-Stahl 1.4539	CrNi-Stahl 1.4541	CrNi-Stahl 1.4571	Hastelloy B	Hastelloy C	Titan	Tantal	Platin	Hartgummi	Weichgummi	PFA	PTFE	EPDM	Buna N	Viton A	PVDF	PVC	Glas	Al ₂ O ₃	
Heizöl	F	-	100	80	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+	+		+	+	+	+	
Helium	G	-	100	80	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+			+	+	+	+	
Heptan	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+		+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	
Hexan	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+		+	+			+	+	+	-		+	+	+	+	
Hydrazin-Lösung	F	+	25	20	+	-	-	-					+	-	-	+	+	+	-			+	+	-	
Kaliumchlorid-Lösung	F	+	30	20	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Kaliumhydroxid-Lösung	F	+	50	20	+	+	+	+	+	+	-	-	+			+	+	+		-	+	+	+	+	
Kaliumpermanganat-L.	F	+	50	20	+	+	+	+		+		+	+	-	-	+	+		+	+	+	-	+		
Kaliumsulfat-Lösung	F	+	20	50	+	+	+	+	+		+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Karbonsäure	F	-	90	50	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	
Kerosin	F	-	100	20	+			+								+	+		+	+			+	+	
Kohlendioxid	G	-	100	50	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Kohlensäure	F	+		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Krypton	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+		-	-	+	+	
Kupferchlorid-Lösung	F	+	50	20	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+	+	+	+	
Kupfersulfat-Lösung	F	+	50	80	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Kupfersulfat-Lösung	F	+	100	80	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Magnesiumchlorid-L.	F	+	50	20	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Magnesiumsulfat-Lösg.	F	+	20	50	+	+	+	+	+	-		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Meerwasser	F	+		50	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Methan	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	
Methanol = Methylalk.	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	
Methylbenzol = Toluol	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+				-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
Methylenchlorid	G	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
Monochloressigsäure	F	+	70	50				+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		-	+	+	
Natriumbikarbonat-Lösg.	F	+	20	50			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	
Natriumbisulfat-Lösung	F	+	10	50	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	
Natriumbisulfat-Lösung	F	+	50	50	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+		+		+	+	+	+	
Natriumchlorid-Lösung	F	+	10	20	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Natriumchlorid-Lösung	F	+	20	20	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Natriumhydroxid-Lösg.	F	+	20	50	+	+	+	+	+	+	+	-		+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	
Natriumhydroxid-Lösg.	F	+	50	50	+	+	+	+	+	+	-	-		+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	

	Gasförmig/Flüssig	Elektrische Leitfähigkeit	Konzentration (%)	Temperatur (°C)	Metalle								Nichtmetalle											
					CrNi-Stahl 1.4301	CrNi-Stahl 1.4539	CrNi-Stahl 1.4541	CrNi-Stahl 1.4571	Hasteloy B	Hasteloy C	Titan	Tantal	Platin	Hartgummi	Weichgummi	PFA	PTFE	EPDM	Buna N	Viton A	PVDF	PVC	Glas	Al ₂ O ₃
Natriumhypochlorid-L.	F	+	20	50	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Natriumkarbonat-Lösg.	F	+	50	50	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Natriumnitrat-Lösung	F	+	30	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Natriumsilikat-Lösung	F	+	30	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Natriumsulfat-Lösung	F	+	20	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Natriumvanadat-Lösung	F	+	10	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Neon	G	-	100	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Oleum	F	+	10	50	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	
Oleum	F	+	20	20	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	
Olivenöl	F	-		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
Oxalsäure-Lösung	F	+	10	50	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	
Ozon	G	-	10	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
Perchloräthylen	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+
Petroleum	F	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Phenol	F	-	90	50	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+
Phosgen	F	-	100	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-			-	+	+
Phosphorsäure	F	+	30	50	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Phosphorsäure	F	+	80	20	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Phtalsäureanhydrid	F	-		20	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Propan	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+				-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+
Salpetersäure	F	+	20	40	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+
Salpetersäure	F	+	70	50	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+
Salzsäure	F	+	10	50	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Salzsäure	F	+	37	20	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Salzsole	F	+		20	-	-	-	-	+	-	+	+			+	+	+	-	+		+	+	+	+
Sauerstoff	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+	-	-	+	+	+
Schwefeldioxid, trocken	G	-	100	50	+	+	+	+	-	+	+	+	+		+	+	+		+	+	-	+	+	+
Schweflige Säure	F	+	10	20	+	+	-	+	-	+	+		+	-	+	+	+		+	+	+			
Schwefelsäure	F	+	10	50	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
Schwefelsäure	F	+	50	20	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-		+	+	-	+	+
Schwefelsäure	F	+	96	20	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-		+	+	-	+	+
Schwefelwasserst., tr.	G	-	100	20	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	-	+	+	+

			Gasförmig/Flüssig	Elektrische Leitfähigkeit	Konzentration (%)	Temperatur (°C)		Metalle							Nichtmetalle												
								CrNi-Stahl 1.4301	CrNi-Stahl 1.4539	CrNi-Stahl 1.4541	CrNi-Stahl 1.4571	Hasteloy B	Hasteloy C	Titan	Tantal	Platin	Hartgummi	Weichgummi	PFA	PTFE	EPDM	Buna N	Viton A	PVDF	PVC	Glas	Al ₂ O ₃
Spinnbad	F	+		50							+	+	-	+			-	-	+	+	-		+	-	+	+	
Stickstoff	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		-	+	+	+	+	+	-	+	+	
Tetrachlorkohlenstoff	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Toluol	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+				-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Trichloräthylen	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Trikresylphosphat	F		100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+				-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+
Vinylacetat	F		100	20	+			+	-	+							-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vinylchlorid	F		100	20		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+		-	+			+
Wasserstoff	G	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wasserstoffperoxid-L.	F	+	40	20	+	+	+	+	+				-	+	-	-	-	-	+	+	+	+		+	+	-	+
Weinsäure	F	+	20	50	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+			+		+	+	+
Xylol	F	-	100	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+				-	-	+	+	+	-		-	+	-	+
Zinkchlorid-Lösung	F	+	60	20	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Zitronensäure	F	+	60	50				+	+	+	+	+	-	+	+		-	-	+	+	+	+		+	+	-	+

9 Literaturverzeichnis

- Eck, Bruno „Technische Strömungslehre“
Springer-Verlag, Berlin
- Hengstenberg, Sturm,
Winkler „Messen, Steuern, Regeln in der Chemischen Technik“
Springer-Verlag, Berlin
- Kalide, Wolfgang „Einführung in die technische Strömungslehre“
Carl Hauser Verlag, München
- Naudascher, Eduard „Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke“
Springer-Verlag, Wien, New York

Technisches Schrifttum der Firmen:

ABB Automation Products
Aerzener Maschinenbaufabrik
Bopp und Reuther
Danfoss
Meinecke
Siemens

Dechema-Werkstofftabelle: Dechema Frankfurt/Main

Die wichtigsten Verfahren der Mengen- und Durchflussmessung werden beschrieben und ihre Eigenschaften verglichen.

Eine Vielzahl praktischer Hinweise gibt dem Anwender umfassende und wertvolle Informationen rund um das Thema Durchflussmessung im industriellen Umfeld