

ABB MEASUREMENT & ANALYTICS

# Industrielle Druck-Messtechnik

## Grundlagen und Praxis



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.

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.

© 2012 ABB Automation Products GmbH

# **Industrielle Druck-Messtechnik Grundlagen und Praxis**

**Autoren:**

G. Lütkepohl, K.-H. Schack, W. Schuka, D. Flach

ABB Automation Products GmbH



# Vorwort

Die Erfassung, Analyse und Verarbeitung physikalischer Größen in Industrieanlagen und deren verfahrenstechnische Prozesse sind zur Einhaltung von Produktqualität und zur Aufrechterhaltung der Anlagensicherheit eine Notwendigkeit.

Die genaue Messung von Prozessparametern ist dabei von größter Wichtigkeit. Ist sie doch die Basis zur Erhöhung von Anlagenwirkungsgraden und zur nachhaltigen Sicherstellung umweltschonender Prozessabläufe.

Der Druck ist eine in diesem Zusammenhang sehr häufig gemessene Größe.

Die Druckmessung wird allerdings nicht ausschließlich dafür herangezogen, um einen Prozessdruck direkt zu erfassen; häufig werden aus dem gemessenen Druck die wirklich interessierenden Größen abgeleitet. Beispiele dafür sind die Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren oder die hydrostatische Füllstandmessung von Flüssigkeiten.

Dadurch wird das Anwendungsspektrum einer Druckmessung und demzufolge auch die Anforderung an den Messstellenaufbau nicht nur sehr vielfältig, sondern auch sehr komplex. Sensortechnologie und Qualität hoch entwickelter Druck-Messumformer sorgen dafür, dass die überwiegende Zahl der Messstellen für Druck in Industrieanlagen zufriedenstellend arbeiten, ohne dass besondere Vorkehrungen bezüglich Einsatzort oder Montagebedingungen getroffen werden mussten.

Wenn aber hinsichtlich Messgenauigkeit, Lebensdauer und Wartungsfreiheit das Maximum an einer Messstelle erreicht werden soll, müssen häufig weiterführende Randbedingungen analysiert und entsprechend beachtet werden. Es beginnt bereits mit der Auswahl des geeigneten und somit richtigen Druck-Messumformers für eine Differenzdruckmessung bzw. Überdruck- oder Absolutdruckmessung. Auch kann die Montageposition des Messumformers von entscheidender Bedeutung sein. Bedeutend sind außerdem die auf den Messumformer einwirkenden Umgebungseinflüsse, obwohl diese nicht immer beeinflussbar sind.

Das vorliegende Handbuch Buch ist grob in drei Bereiche gegliedert. Es beginnt mit der Beschreibung der Funktionsweise von Druck-Messumformern mit unterschiedlichen Sensorprinzipien, der Signalaufbereitung durch die Elektronik und den unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen. Danach folgen Hinweise zum optimalen Einsatz der Geräte, bezogen auf richtige Anwendung und Montage. Den Abschluss bilden Beschreibungen der wichtigsten Vorschriften und Gesetze, die bei der Instrumentierung von Prozessen mit Druck-Messumformern zu beachten sind.

Die zuerst genannten Themen wenden sich an den Leserkreis, der sich neu mit dem Thema Druck-Messtechnik beschäftigt und zunächst einmal die Grundlagen kennenlernen möchte. Der zweite Abschnitt ist als Unterstützung für all diejenigen gedacht, die sich im konkreten Fall mit der Auswahl von Messumformern für bestimmte Messaufgaben und der Planung von Montage und Instandhaltung auseinandersetzen müssen.

Das Thema Vorschriften und Gesetze erhebt bei der Vielzahl der zu beachtenden Regelungen bei unterschiedlichen Anlagen oder Herstellungsprozessen keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll die Aufmerksamkeit erhöhen, die diesem Thema in der täglichen Praxis gewidmet werden muss.

Dieses Buch hat sein Ziel erreicht, wenn es dazu beiträgt, in dem weiten Feld der industriellen Messtechnik ein besseres Verständnis für die speziellen Anforderungen der Druck-Messtechnik zu verbreiten.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen und viel Erfolg bei der Nutzung des Handbuchs in Theorie und Praxis.

Besonderer Dank gebührt den bei der Erstellung des Buches mitwirkenden Autoren. Außerdem freuen wir uns auf Ihre Anregungen und Kommentare, die wir in neue technologische, kundennahe Lösungen einfließen lassen werden.

# Formelzeichen und Abkürzungen

$p$	Druck (Pa, bar)
$p_{\text{dyn}}$	dynamischer Druck
$\Delta p$	Druckdifferenz, Differenzdruck, Wirkdruck (Pa, bar)
$p_{\text{abs}}$	Absolutdruck, absoluter Druck
$p_e$	Überdruck
$p_{\text{amb}}$	Atmosphärendruck
PS	Zulässiger Betriebsüberdruck
PN	Nenndruck
PT	Prüfdruck
PO	Arbeitsdruck
TB	Zulässige Betriebstemperatur
$q_m$	Massestrom, Massedurchfluss (g/s, kg/h)
$q_v$	Volumenstrom (m <sup>3</sup> /h, dm <sup>3</sup> /s)
A	Fläche
$F_N$	Normalkraft
$P_0$	wirksamer äußerer Druck
$\rho$	Dichte
g	Erdbeschleunigung
h	Höhe
PS	maximal zulässiger Druck (Auslegung)
R	Widerstand
C	Kapazität
L	Induktivität
V	Volumen
$\Pi$	3,14159...
r	Radius
C	Durchflusskoeffizient
$\beta$	Durchmesser Verhältnis

$\varepsilon$	Expansionszahl
d	Blendeninnendurchmesser
D	Rohrinnendurchmesser
Re	Reynoldszahl
E	Vorgeschwindigkeitsfaktor
T	Temperatur
a	Abstand Behälterstutzen / Messumformer
b	Abstand Behälterstutzen bis unterer zu messender Füllstand
c	Abstand unterer bis oberer zu messender Füllstand
$\rho_{FL}$	Dichte Füllflüssigkeit
$\rho_{KA}$	Dichte Füllflüssigkeit Kapillarrohr
$\rho_G$	Dichte Gas
H1	unterer zu messender Füllstand
H2	oberer zu messender Füllstand
$P_{H1}$	Druck Messbereichsanfang
$P_{H2}$	Druck Messbereichsende
F	Abweichung (Messgenauigkeit)
$F_{perf}$	Gesamtabweichung
$F_{DT}$	Temperatureinfluss
$F_{DTZ}$	Temperatureinfluss auf das Nullsignal
$F_{DTS}$	Temperatureinfluss auf die Messspanne
$F_{DPZ}$	Einfluss des statischen Drucks auf das Nullsignal
$F_{DPS}$	Einfluss des statischen Drucks auf die Messspanne
$F_{lin}$	Messabweichung (Kennlinienabweichung)



## Abkürzungen

AGA	American Gas Association
AI	Analog-Input Block
AISI	American Iron and Steel Institute
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATEX	ATmosphère EXplosible
CFF-Datei	Common File Format File
CSA	Canadian Standards Association
DD	Device Description
DDL	Device Description Language
DGRL	Druckgeräterichtlinie
DTM	Device Type Manager
EDDL	Electronic Device Description Language
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
FDA	Food and Drug Administration
FDT	Field Device Tool
FFT	Fourier-Analyse
FM	Factory Mutual
GOST	Gossudarstwenny Standart
GSD	Geräte Stammdaten Datei
HFT	Hardware Fault Tolerance
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
JIS	Japan Industrial Standard
LAS	Link Active Scheduler
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NAMUR	Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie

NEPSI	National Supervision and Inspection Centre for Explosion Protection and Safety of Instrumentation
PED	Pressure Equipment Directive
PFD	Probability of Failure on Demand
PNO	PROFIBUS Nutzer-Organisation
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PV	Primary Variable
RB	Resource Block
SFF	Safe Failure Fraction
SIL	Safety Integrity Level
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TB	Transducer Block
TTG- Technologie	Through The Glass Technology (Bedienung durch Sichtscheibe)
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

<b>1</b>	<b>Einführung in die Physik der Druckmessung</b>	<b>15</b>
1.1	Grundlagen und Grundbegriffe	15
1.2	Druckarten	17
1.3	Druckangaben für Bauteile	19
<b>2</b>	<b>Konstruktiver Aufbau von Druck-Messumformern</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>Messzellen für Druck und Differenzdruck</b>	<b>25</b>
3.1	Druck-Messzellen	25
3.1.1	U-Rohr-Manometer	26
3.1.2	Rohrfeder-Messwerk	28
3.1.3	Dehnungs-Messstreifen	30
3.1.4	Drucksensor mit kapazitivem Abgriffsystem	31
3.1.5	Drucksensor mit piezoresistivem Abgriffsystem	32
3.2	Differenzdruck-Messzellen	33
3.2.1	Differenzdruck-Messzelle mit mechanischem Abgriffsystem	33
3.2.2	Differenzdruck-Messzelle mit induktivem Abgriffsystem	35
3.2.3	Differenzdruck-Messzelle mit kapazitivem Abgriffsystem	36
3.2.4	Differenzdruck-Messzelle mit piezoresistivem Abgriff	38
3.2.5	Überlastfestigkeit von Differenzdruck-Messzellen	38
3.3	Absolutdruck-Messzellen	40
3.3.1	Differenzdruck-Messzelle zur Absolutdruckmessung	40
3.3.2	Druck-Messzelle zur Absolutdruckmessung	41
<b>4</b>	<b>Druckfühler</b>	<b>43</b>
4.1	Wirkungsweise	44
4.2	Einfluss auf die Messgenauigkeit	46
4.3	Einfluss auf die Einstellzeit	47
4.4	Auswahl der Füllflüssigkeit	47
4.5	Bauformen von Druckfühlern	48
<b>5</b>	<b>Die Elektronik von Druck-Messumformern</b>	<b>51</b>
5.1	Die Komponenten der Elektronik	51
5.1.1	Hauptelektronik	51
5.1.2	Anpassung	51
5.1.3	Analog-/Digital-Wandlung	52
5.1.4	Digital-/Analog-Wandlung	54
5.2	Digitale Signalaufbereitung	55
5.2.1	Kompensation	55
5.2.2	Kalibrierung und Einstellung	58
5.2.3	Rechenfunktionen	60
5.2.4	Ausgangssignal	65
5.3	Einstellung des Messumformers	71
5.3.1	Einstellung im Herstellerwerk	71

5.3.2	Einstellung analoger Messumformer	71
5.3.3	Einstellung mit Bedientasten	73
5.3.4	Einstellung mit integriertem Digitalanzeiger	73
5.3.5	Einstellung mit Hand Held Terminal	74
5.3.6	Bedienprogramme	75
5.3.7	Programmierbare Steuerungen und Leitsysteme	77
5.3.8	Einstellbare Parameter	77
5.4	Diagnose	82
5.4.1	Diagnose bei Analogausgang	83
5.4.2	Diagnose mittels HART-Kommunikation	84
5.4.3	Diagnose bei PROFIBUS	85
5.4.4	Diagnose bei FOUNDATION fieldbus	86
5.4.5	Diagnose bei Modbus	86
5.4.6	Diagnose in der Praxis	86
5.4.7	Diagnose mit Digitalanzeiger	87
5.4.8	Darstellung der Diagnose im DTM	87
<b>6</b>	<b>Auslegung von Druck-Messumformern</b>	<b>89</b>
6.1	Messspanne	89
6.2	Betriebsdruck	90
6.3	Füllflüssigkeit	90
6.4	Werkstoffe und Beständigkeit	91
6.5	Temperaturgrenzen	94
6.6	Zulassungen, Zertifikate	95
<b>7</b>	<b>Durchflussmessung nach dem Wirkdruck-Messverfahren</b>	<b>97</b>
7.1	Grundlagen des Messprinzips	97
7.2	Bauform der Drosselgeräte	100
7.3	Anforderungen an den Einbau	103
7.4	Messanordnungen	104
7.5	Wirkdruck-Messumformer	106
7.6	Zustandskorrektur	108
<b>8</b>	<b>Füllstandmessung mit Druck-Messumformern</b>	<b>113</b>
8.1	Messung am offenen Behälter	113
8.2	Messung am geschlossenen Behälter	114
8.3	Trennschichtmessung	115
8.4	Dichtemessung	116
8.5	Spezielle Verfahren der Füllstandmessung	117
8.5.1	Einperlverfahren	117
8.5.2	Messung am Flüssiggasbehälter	118
8.6	Berechnung des Messbereichs	119
8.6.1	Füllstandmessung am offenen Behälter	120
8.6.2	Füllstandmessung am geschlossenen Behälter	122
8.6.3	Trennschichtmessung	125
8.6.4	Dichtemessung	126

8.6.5	Volumenmessung	127
<b>9</b>	<b>Installation von Druck-Messumformern</b>	<b>129</b>
9.1	Montagearten	129
9.2	Armaturen	131
9.3	Wirkdruckleitungen	134
9.3.1	Verlegung der Wirkdruckleitungen	134
9.4	Messumformerinstallation an Rohrleitungen	135
9.4.1	Flüssigkeitsmessungen	135
9.4.2	Gasmessungen	136
9.4.3	Dampfmessungen	136
9.5	Messumformerinstallation an geschlossenen Behältern	138
9.5.1	Gasphase oberhalb der Flüssigkeit	138
9.5.2	Sattdampf oberhalb der Flüssigkeit	139
9.6	Messumformerinstallation mit Druckfühlern	141
9.6.1	Überdruck- oder Absolutdruckmessung	141
9.6.2	Durchflussmessung	142
9.6.3	Füllstandmessung von Flüssigkeiten bei offenem Behälter	143
9.6.4	Füllstandmessung von Flüssigkeiten bei geschlossenem Behälter	144
9.7	Elektrische Anforderungen	152
<b>10</b>	<b>Spezifikationen in Datenblättern</b>	<b>155</b>
10.1	Funktionale Spezifikation	155
10.2	Betriebsgrenzen	156
10.3	Umgebungseinflussgrenzen	157
10.4	Elektrische Daten und Funktionalität	158
10.5	Messgenauigkeit	160
10.6	Technische Spezifikation	164
10.7	Weitere Angaben	164
<b>11</b>	<b>Abschätzung der Gesamtabweichung an einer Messstelle</b>	<b>165</b>
11.1	Einleitung	165
11.2	Arten von Abweichungen	166
11.2.1	Bezugsgröße Ausgangssignalspanne	166
11.2.2	Bezugsgröße maximale Messspanne	167
11.3	Beispielrechnung	169
<b>12</b>	<b>Vorschriften und Forderungen zur Produktsicherheit</b>	<b>171</b>
12.1	Schutzarten nach EN 60529 (auszugsweise)	171
12.2	Anforderungen zur Störfestigkeit (EMV)	174
12.3	Explosionsschutz	176
12.3.1	Internationale Aufstellung des Explosionsschutzes	176
12.3.2	Begriffsdefinitionen	177
12.3.3	Zündschutzarten in Europa (ATEX)	184
12.3.4	Kennzeichnung von Betriebsmitteln	187
12.3.5	Nachweis der Eigensicherheit	187

12.4	SIL - Funktionale Sicherheit .....	189
12.5	Druckgeräterichtlinie 97/23/EG .....	195
<b>13</b>	<b>Anwendung von Druck-Messumformern .....</b>	<b>197</b>
13.1	Energieerzeugung .....	197
13.2	Öl- und Gasindustrie .....	200
13.3	Chemische Industrie .....	203
13.4	Papierherzeugende Industrie .....	206
<b>14</b>	<b>Normen und Regelwerke .....</b>	<b>209</b>
<b>15</b>	<b>Werkstoffe, Beständigkeitstabelle .....</b>	<b>211</b>

# 1 Einführung in die Physik der Druckmessung

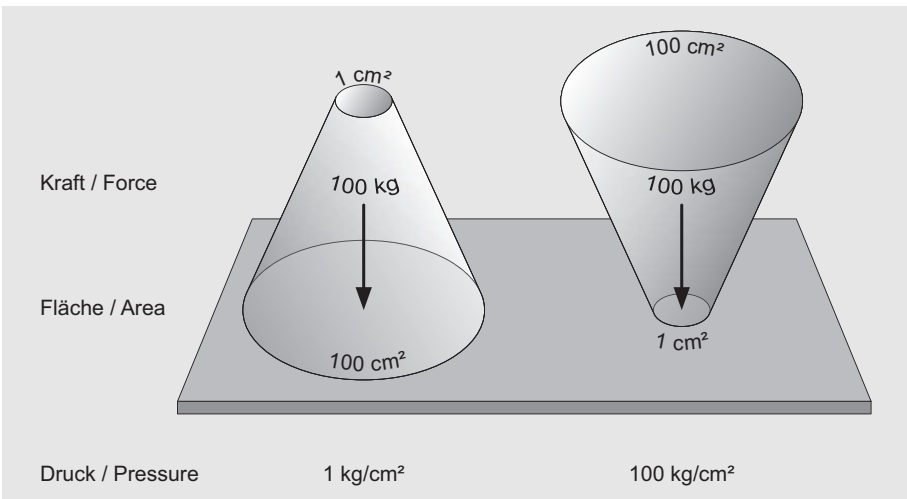
## 1.1 Grundlagen und Grundbegriffe

Der Druck ist eine Zustandsgröße, wie auch die Temperatur, und somit ebenfalls eine wichtige Messgröße in der industriellen Messtechnik. Alle Stoffe, sowohl in flüssigem, dampf- oder auch gasförmigem Zustand, üben einen Druck auf die sie einschließenden Wände aus. Die physikalischen Eigenschaften vieler Stoffe sind von Natur aus druckabhängig. Druckunterschiede können erfasst, überwacht oder auch in andere Messgrößen umgerechnet werden.

Für diese Zwecke wird in der industriellen Messtechnik und in der Verfahrenstechnik der Druck an vielen Stellen gemessen, um relevante Informationen zu gewinnen. Beispielfhaft seien genannt:

- Sicherstellung einer geforderten Produktqualität
- Schutz von Personen und Anlage durch Verhinderung einer Überlastung von Anlageteilen
- Erfassung von Druck als Hilfsgröße für andere wichtige Messgrößen in der Anwendung oder im Verfahren, z. B. Durchfluss in Rohrleitungen oder Füllstand von Flüssigkeiten in Behältern.

Das vorliegende Handbuch befasst sich ausschließlich mit den in DIN 1314 definierten und beschriebenen Drücken. Die dort niedergeschriebenen Festlegungen betreffen den Druck in Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen.



**Bild 1-1:** Druckkraft auf ein Flächenelement

Der Druck  $p$  ist eine der Größen, die den Zustand eines Fluids (Gase, Flüssigkeiten) beschreibt. Fluide werden in der Strömungslehre als Stoffe bezeichnet, die einer Formänderung ohne Volumenänderung keinen oder nur geringen Widerstand entgegensetzen. Der Druck  $p$  ist der Quotient aus der Normalkraft  $F_N$ , die auf eine Fläche wirkt, und dieser Fläche  $A$ .

$$\text{Druck } (p) = \text{Kraft } (F_N) / \text{Fläche } (A) \rightarrow p = F_N / A$$

Druck breitet sich in Fluiden, anders als in festen Stoffen, gleichmäßig nach allen Seiten aus. Solange man die Schwerkraft vernachlässigen kann, ist der Druck demzufolge an allen Stellen der Wandung gleich.

Berücksichtigt man auch noch den Einfluss der Schwerkraft, so gilt für den Druck  $p$  am Boden eines Behälters:

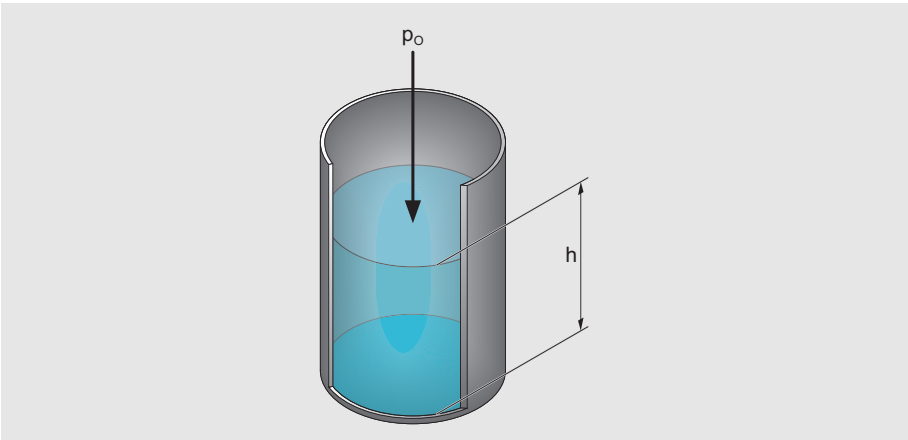
$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

$p_0$ : von oben auf das Fluid wirkender äußerer Druck

$\rho$ : Dichte des Fluids

$g$ : Erdbeschleunigung

$h$ : Höhe der Säule



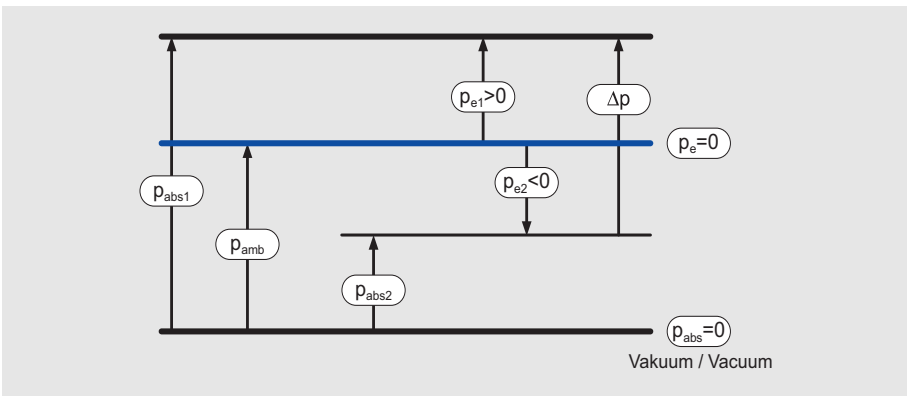
**Bild 1-2:** Druck  $p$  am Boden eines Behälters



## 1.2 Druckarten

In der technischen Sprache werden verschiedene Druckarten (im allgemeinen Differenz zwischen dem zu betrachtenden Druck und einem Referenzdruck) benutzt, die üblicherweise ebenfalls Druck genannt werden. In der DIN 1314 sind für den Druck in Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen folgende Begriffe und Einheiten festgelegt:

- Absoluter Druck, Absolutdruck  $p_{\text{abs}}$  →  
ist der Druck gegenüber dem Druck Null im leeren Raum.
- Atmosphärendruck  $p_{\text{amb}}$  →  
ist der Druck, den die Erdatmosphäre auf die Erdoberfläche ausübt. Auf Meereshöhe gemessen beträgt er im Jahresmittel 1013,25 hPa.
- Überdruck  $p_e$  →  
ist der Druck gegenüber dem Atmosphärendruck  $p_{\text{amb}}$ . Der Überdruck  $p_e$  kann daher positive oder negative Werte annehmen.
- Druckdifferenz  $\Delta p = p_1 - p_2$  →  
ist die Differenz zweier Drücke. Sie wird, wenn sie selbst Messgröße ist, auch Differenzdruck genannt.



**Bild 1-3:** Zusammenhang und Darstellung der verschiedenen Druckarten

Zur Messung der verschiedenen Druckarten sind unterschiedliche Drucksensoren verfügbar. Sie messen Differenzdruck, Absolutdruck oder Überdruck und müssen für die jeweilige Messaufgabe entsprechend ausgewählt werden. Damit der richtige Drucksensor bzw. der richtige Messumformer gefunden werden kann, ist es erforderlich die zu messende Druckart genau zu beschreiben. Die Angabe der Dimension ist dabei nicht ausreichend, da sie ja für alle Druckarten gleich ist.

Bei bekanntem Atmosphärendruck kann man Überdruck und Absolutdruck ineinander umrechnen:

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

Bei Drücken mit > 30 bar Messspanne kann man in vielen Fällen die natürlichen Schwankungen des Atmosphärendrucks  $p_{amb}$  (max.  $1013 \pm 50$  mbar) vernachlässigen und anstelle eines Absolutdruck-Messumformers einen entsprechend justierten Überdruck-Messumformer oder anstelle eines Überdruck-Messumformers einen Absolutdruck-Messumformer einsetzen.

**Beispiel:**

Notwendig ist eine Absolutdruckmessung mit einem Messbereich:

$$p_{abs} = 5...35 \text{ bar.}$$

Bei Verwendung eines Überdruck-Messumformers anstatt eines Absolutdruck-Messumformers ist dann der eingestellte Messbereich:

$$p_e = 4...34 \text{ bar.}$$

Durch den Einsatz eines Überdruck-Messumformers entsteht ein zusätzlicher Messfehler bei  $\pm 50$  mbar Luftdruckschwankung, bezogen auf die eingestellte Messspanne von 30 bar:

$$50 \text{ mbar} / 30 \text{ bar} \times 100 \% = 0,16 \%$$

Wenn die zusätzliche Messabweichung für die Applikation akzeptiert wird, kann also für diese Messung ein Überdruck-Messumformer eingesetzt werden.

	<b>bar</b>	<b>mbar</b>	<b>MPa</b>	<b>N/m<sup>2</sup> (Pa)</b>	<b>mmWs</b>
<b>bar</b>	<b>1</b>	$1,00 \times 10^{+3}$	$1,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{+5}$	$1,02 \times 10^{+4}$
<b>mbar</b>	$1,00 \times 10^{-3}$	<b>1</b>	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{+2}$	$1,02 \times 10^{+1}$
<b>MPa</b>	$1,00 \times 10^{+1}$	$1,00 \times 10^{+4}$	<b>1</b>	$1,00 \times 10^{+6}$	$1,02 \times 10^{+5}$
<b>N/m<sup>2</sup> (Pa)</b>	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-6}$	<b>1</b>	$1,02 \times 10^{-1}$
<b>mmWs</b>	$9,80 \times 10^{-6}$	$9,81 \times 10^{-2}$	$9,80 \times 10^{-7}$	$9,81 \times 10^{+4}$	<b>1</b>
	<b>kp/ cm<sup>2</sup></b>	<b>psi</b>	<b>mmHG (Torr)</b>	<b>inch HG</b>	<b>inch H<sub>2</sub>O</b>
<b>kp/cm<sup>2</sup></b>	<b>1</b>	$1,42 \times 10^{+5}$	$7,36 \times 10^{+5}$	$2,90 \times 10^{+4}$	$3,94 \times 10^{+5}$
<b>psi</b>	$7,03 \times 10^{-2}$	<b>1</b>	$5,17 \times 10^{+5}$	$2,04 \times 10^{+5}$	$2,77 \times 10^{+1}$
<b>mmHG (Torr)</b>	$1,36 \times 10^{-3}$	$1,93 \times 10^{-2}$	<b>1</b>	$3,94 \times 10^{-2}$	$5,35 \times 10^{-1}$
<b>inch HG</b>	$3,45 \times 10^{-2}$	$4,91 \times 10^{-1}$	$2,54 \times 10^{+1}$	<b>1</b>	$1,36 \times 10^{+5}$
<b>inch H<sub>2</sub>O</b>	$2,54 \times 10^{-3}$	$3,61 \times 10^{-2}$	$1,87 \times 10^{+5}$	$7,36 \times 10^{-2}$	<b>1</b>

**Tab. 1-1:** Umrechnungsfaktoren von Druckeinheiten

### 1.3 Druckangaben für Bauteile

Die im Rohrleitungs- und Anlagenbau üblichen Druck- und Temperaturangaben von druckbeanspruchten Bauteilen sind in der DIN EN 764 Teil1 festgelegt. Wesentlich für die Druck-Messtechnik sind die folgende Angaben und Definitionen:

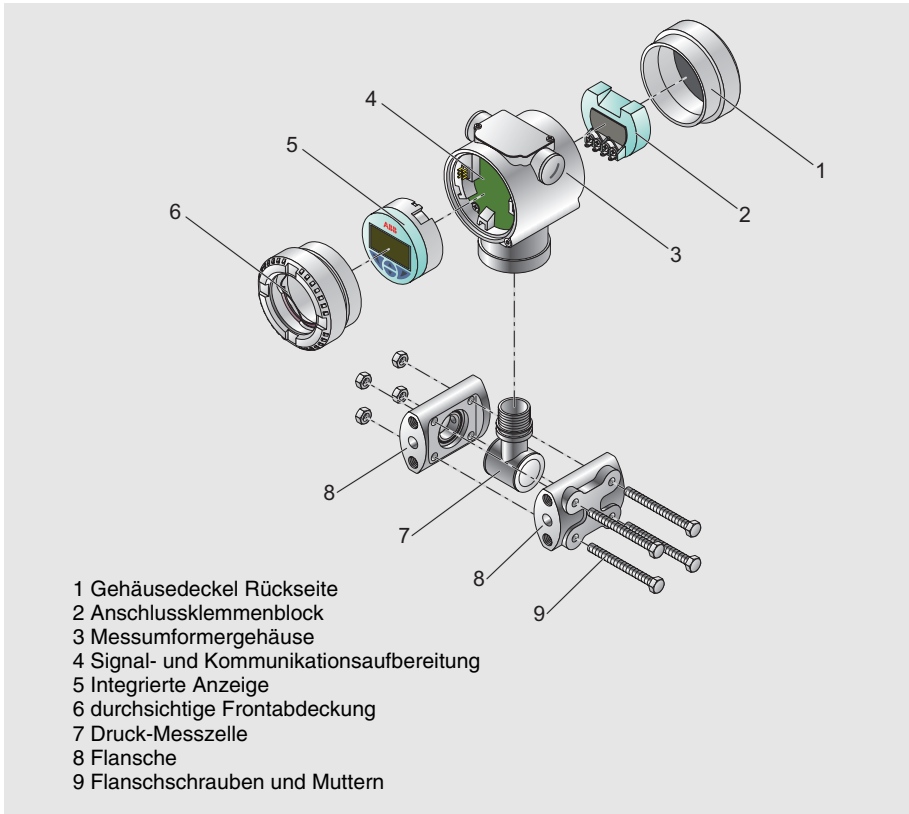
- Maximal zulässiger Druck PS →  
Höchster Druck, für den das Gerät nach Festlegung des Herstellers ausgelegt ist.
- Prüfdruck PT →  
Der Prüfdruck ist derjenige Überdruck, dem ein Bauteil zur Prüfung ausgesetzt wird.
- Arbeitsdruck PO →  
Der Arbeitsdruck eines Messmediums ist der Druck, der bei spezifizierten Betriebsbedingungen entsteht.



## 2 Konstruktiver Aufbau von Druck-Messumformern

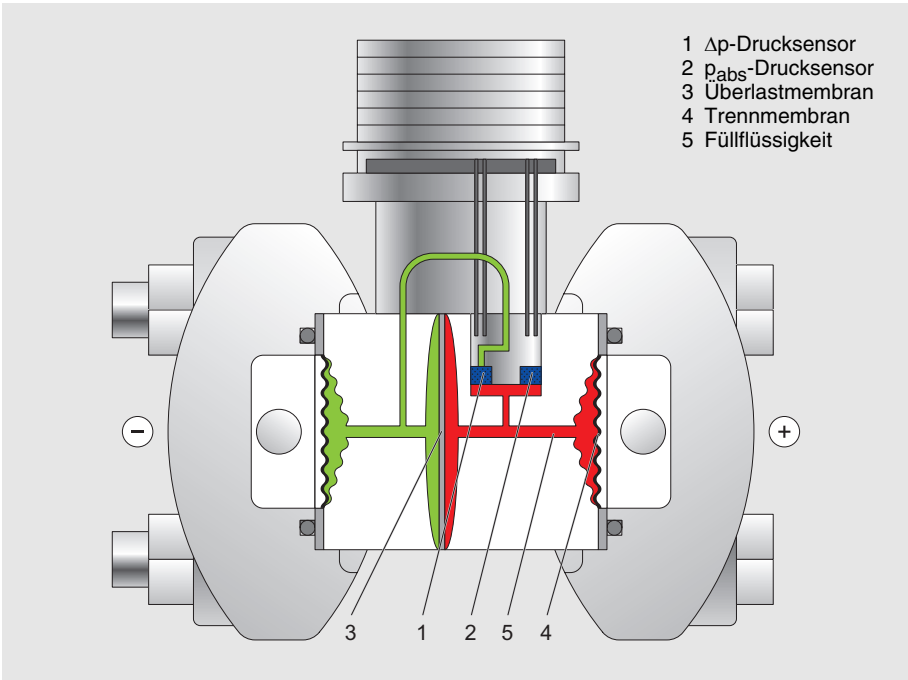
Druck-Messumformer bestehen im Allgemeinen aus folgenden Hauptkomponenten:

- Druck-Messzelle mit Drucksensor, die den Druck in ein mechanisches oder elektrisches Signal umsetzt,
- Elektronik, die das Signal des Drucksensors aufbereitet und in ein Standard-Übertragungssignal umwandelt,
- Gehäuse und Prozessanschlüsse.



**Bild 2-1:** Druck-Messumformer und seine Komponenten

Der in der Druck-Messzelle befindliche Drucksensor kommt üblicherweise nicht mit dem Messmedium des Prozesses in Berührung, sondern er ist durch die Verwendung von vorgeschalteten Trennmembranen geschützt. Der Prozessdruck wird von den Trennmembranen über die in der Druck-Messzelle eingebrachte Füllflüssigkeit zum innenliegenden Drucksensor übertragen und dort gemessen.



**Bild 2-2:** Aufbau einer Multisensor-Messzelle für die Messung von Differenzdruck

Die eingebaute Elektronik des Druck-Messumformers verstärkt das Drucksensorsignal, bereitet es durch Linearisierung und Korrektur von Betriebseinflüssen auf und wandelt es anschließend in Standard-Ausgangssignale um. Das können Stromsignale, Spannungssignale oder digitale Signale sein.

Mit Hilfe der Elektronik kann durch Kalibrierung oder Parametrierung eine Beziehung zwischen Druck und Ausgangssignal hergestellt werden, die in gewissen Grenzen vom eigentlichen Messbereich des Drucksensors unabhängig ist. Die Elektronik befindet sich in einem Gehäuse, das an der Messzelle fest montiert ist.

Das Gehäuse schützt die Elektronik vor Umgebungseinflüssen, wie Feuchtigkeit und Staub. Darüber hinaus bietet es geeignete Anschlussmöglichkeiten für die notwendigen elektrischen Leitungen. Es kann zudem eine integrierte Anzeige aufnehmen und hat häufig Bedienelemente, um den Druck-Messumformer durch Parametrierung an die jeweilige Messaufgabe anpassen zu können.

Beispielhafte Bauformen und Ausführungen von Druck- und Differenzdruck-Messumformern:



**Bild 2-3:** Druck-Messumformer mit Standardanschluss



**Bild 2-4:** Druck-Messumformer mit Entlüftungsventil



**Bild 2-5:** Differenzdruck-Messumformer



**Bild 2-6:** Multivariabler Messumformer



**Bild 2-7:** Differenzdruck-Messumformer mit Druckfühlern, einmal direkt angebaut, einmal mit Kapillarrohr



**Bild 2-8:** Druck-Messumformer mit Druckfühler mit Kapillarrohr



**Bild 2-9:** Druck-Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler



**Bild 2-10:** Differenzdruck-Messumformer, Elektronikgehäuse für den Einsatz bei vertikalem Anschluss der Wirkdruckleitungen



## 3 Messzellen für Druck und Differenzdruck

Druck wird gemessen, indem man die von ihm verursachten Veränderungen von Eigenschaften, z. B. Volumen-, Form-, Widerstands- oder Induktivitätsänderungen eines druckbeaufschlagten Sensors (Drucksensor) bestimmt. Dazu wird der Druck in der Regel in eine Messzelle eingeleitet, die den Drucksensor beinhaltet. Dabei ist zu beachten, dass es zu keinen unzulässigen chemischen Reaktionen zwischen Messmedium und Messzelle kommt oder feste Verunreinigungen im Messmedium den Messvorgang stören.

Bei den Messzellen gibt es, auf der Basis verschiedener physikalischer Effekte, eine Reihe von Ausführungsformen, die sich historisch entwickelt haben und so die Weiterentwicklung der Druck-Messtechnik widerspiegeln. Ziel ist es, Messzellen bereitzustellen, die flexibel an möglichst viele Messaufgaben angepasst werden können, die wartungsfrei sind, die eine lange Lebensdauer sicherstellen und geringe Messabweichungen aufweisen. Alle diese aufgeführten Anforderungen lassen sich leider immer nur teilweise und mit unterschiedlichen Messzellen erfüllen, wobei jede ihren optimalen Einsatzbereich hat. Die folgenden Kapitel beschreiben eine Auswahl der heute am häufigsten eingesetzten Messzellen.

### 3.1 Druck-Messzellen

Messzellen für Überdruck messen gegenüber dem Atmosphärendruck  $p_{\text{amb}}$  sowohl positive als auch negative Überdrücke. Der Druck wird über den Prozessanschluss in die Messzelle eingeleitet, während der als Bezugsdruck dienende Atmosphärendruck  $p_{\text{amb}}$  die Messzelle ohne besondere Zuführung einfach von außen umgibt. Das ist in vielen Fällen ohne weiteres möglich, da die umgebende Atmosphäre in der Regel aus sauberer Luft besteht.

Abhängig vom verwendeten Drucksensor werden zur Druckmessung auch Systeme eingesetzt, die den Atmosphärendruck über Belüftungskanäle, die mit Filterelementen abgedichtet sind, dem Drucksensor zuführen.

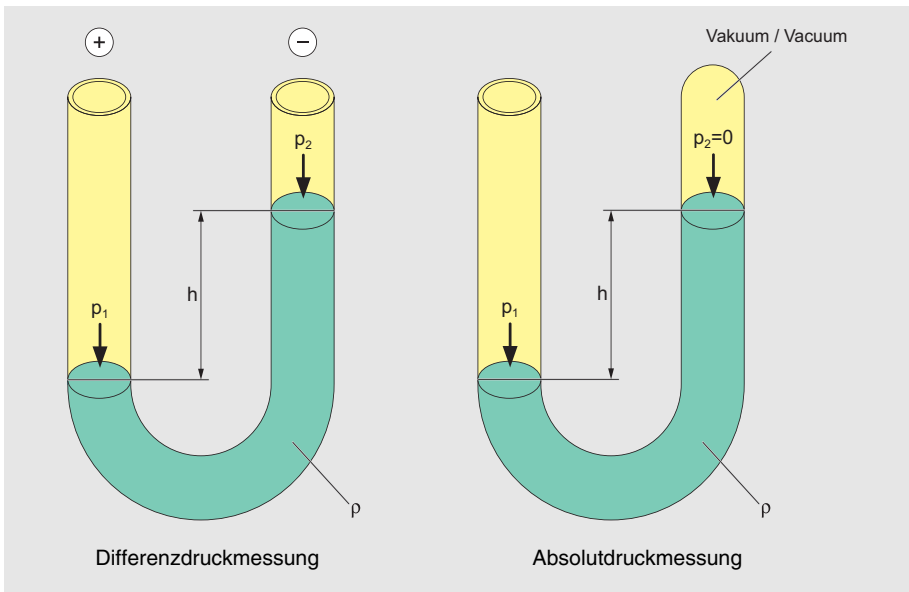
In Bezug auf Überlastbarkeit werden an Druck-Messumformer Anforderungen gestellt, die sich in der Regel bis zum 1,5- oder 2-fachen Wert des Nennmessbereichs bewegen. Diese, verglichen mit Differenzdruck-Messumformern, geringe Anforderung lässt einen relativ einfachen Aufbau der Druck-Messzelle zu.

Wenn bei speziellen Anwendungen hohe Überlastdrücke auftreten, werden zur Überdruckmessung auch die in einem weiteren Kapitel beschriebenen Differenzdruck-Messzellen eingesetzt. Dabei wird der Prozessdruck nur einer Seite des Differenzdruck-Messumformers zugeführt, während die andere Seite gegen Atmosphäre offen bleibt und als Referenz dient.

### 3.1.1 U-Rohr-Manometer

Das einfachste Druckmessgerät ist das als Vergleichs- und Kontrollgerät eingesetzte U-Rohr-Manometer, das bei sorgfältiger Handhabung oft ausreichend genaue Messergebnisse liefert. Es kann sowohl als Überdruck-, Differenzdruck- oder Absolutdruckmesswerk verwendet werden.

Der Druck oder die Druckänderung kann nur optisch erfasst werden. Es eignet sich daher nicht zur Erzeugung eines elektrischen Ausgangssignals, das für die Automatisierung von verfahrenstechnischen Prozessen unabdingbar notwendig ist.



**Bild 3-1:** Messprinzip U-Rohr-Manometer

Das mit einer geeigneten Sperrflüssigkeit der Dichte  $\rho$  gefüllte U-Rohr-Manometer bildet den Differenzdruck der angeschlossenen Drücke  $p_1$  und  $p_2$  als Flüssigkeitssäule  $h$  ab. Für den stationären Zustand gilt:

$$p_1 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h$$

oder

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot h$$

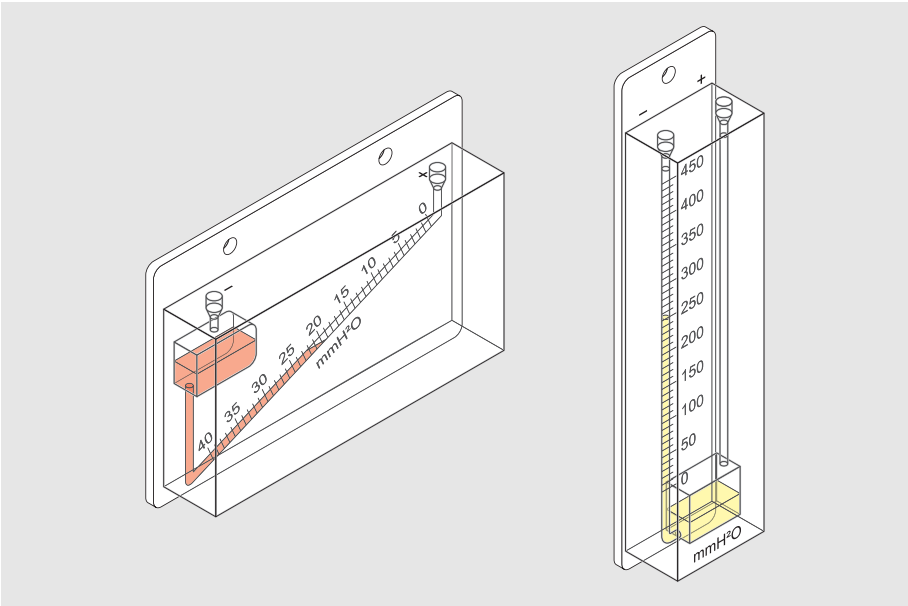
Bei einem U-Rohr-Manometer ist stets die Differenz der beiden Schenkel abzulesen. Der Druck  $\rho \cdot g \cdot h$  der Flüssigkeitssäule ist sowohl vom Wert der Erdbeschleunigung  $g$  am Messort, als auch von der Dichte  $\rho$  der Sperrflüssigkeit abhängig. Die Dichte der Sperrflüssigkeit wiederum ist abhängig von der Umgebungstemperatur.

Es gibt spezielle Ausführungen von U-Rohr-Manometern, bei denen ein Schenkel zu einem Gefäß erweitert wird, und somit einen erheblich größeren Querschnitt hat als der verbleibende Schenkel. Bei Druckänderungen bleibt deshalb der Flüssigkeitsstand im Gefäß nahezu konstant, so dass es möglich ist, den Druck nur am zweiten Schenkel des Manometers abzulesen. Zur Messung kleiner Drücke wird oft der zweite Schenkel schräg gestellt. Man spricht dann von Schrägrohr-Manometern. Dadurch wird die Längenänderung der Flüssigkeitssäule vergrößert um eine bessere und auch genauere Ablesung zu ermöglichen.

Als Sperrflüssigkeit dient sehr oft Wasser. Für höhere Drücke verwendet man Quecksilber. Daneben benutzt man für bestimmte Anwendungsfälle, z. B. Senkung des Gefrierpunktes oder Anhebung des Verdampfungspunktes oder auch wegen des geringeren Dampfdrucks, andere Sperrflüssigkeiten.

Um die Dichte  $\rho$  der Sperrflüssigkeit richtig berücksichtigen zu können, muss man ihre Temperatur kennen. Der Temperatureinfluss bei Wasser und Quecksilber ist im Bereich zwischen 10 °C und 40 °C in der Regel zu vernachlässigen.

Die dargestellte Gleichung gibt den Zusammenhang zwischen Differenzdruck  $\Delta p$  und der Höhe  $h$  der Sperrflüssigkeit wieder. Sie gilt jedoch nur, wenn die Dichte des Stoffes über der Sperrflüssigkeit gegenüber der Dichte der Sperrflüssigkeit zu vernachlässigen ist. Bei der Druckmessung von Gasen und Dämpfen unter hohem statischen Druck und von Flüssigkeiten verliert diese Gleichung ihre Gültigkeit. Für diese Art der Anwendung haben U-Rohr-Manometer im Laufe der Jahre immer mehr an Bedeutung verloren.



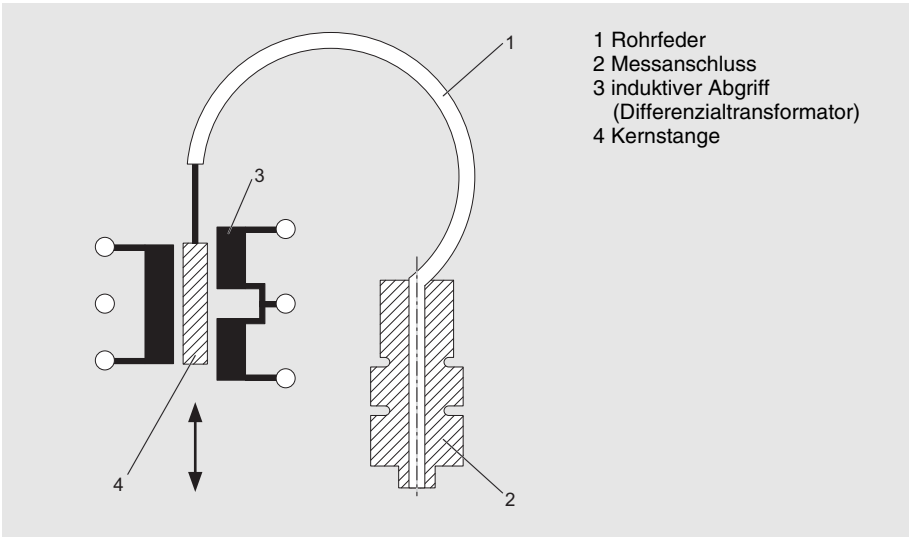
**Bild 3-2:** Bauformen U-Rohr-Manometer, Schrägrohr- und Standard-Manometer

### 3.1.2 Rohrfeder-Messwerk

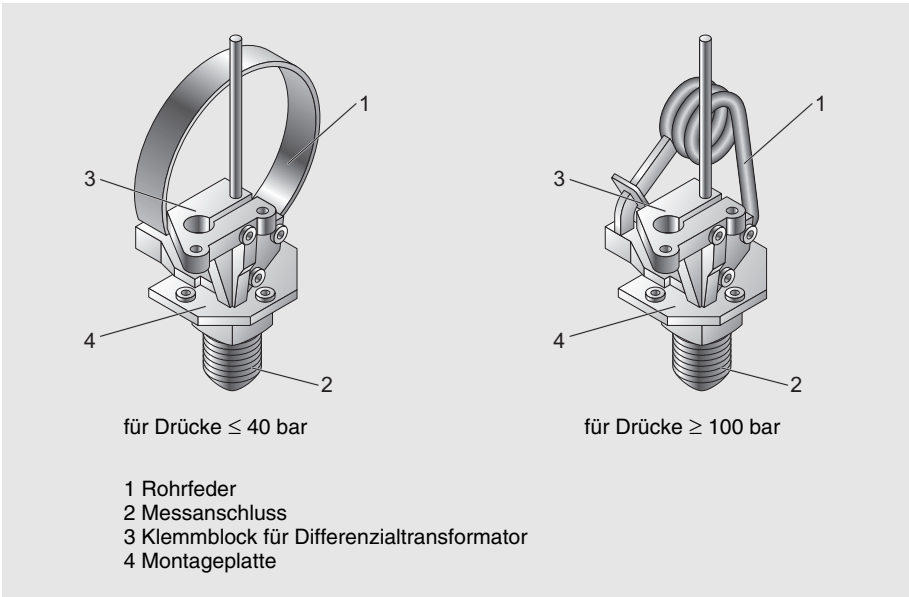
Das Rohrfeder-Messwerk besteht aus einem kreisförmigen elastischen Rohrstück, das mit einem Träger, der gleichzeitig den Messmediumanschluss darstellt, druckdicht verbunden ist. Das Messmedium wird in das Innere des Rohrstückes geleitet, während es außen von Atmosphärendruck umgeben ist.

Der Überdruck, der sowohl positiv als auch negativ sein kann, verändert die ursprüngliche Krümmung. Der Ausschlag (ca. 3 mm), den das verschlossene Ende ausführt, ist ein Maß für den Überdruck. Dieses Wegsignal kann einen Anzeiger oder einen pneumatischen Messumformer ansteuern. Alternativ wird der Druck durch eine Wegmessung z. B. durch einen Differenzialtransformator in ein druckproportionales elektrisches Signal umgesetzt, das dann über eine Messumformerelektronik zur Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt wird.

Je nach Messbereich, d. h. Höhe des zu messenden Drucks, wird die Rohrfeder als Kreis- oder Schraubenfeder ausgeführt. Als Werkstoffe werden je nach Messaufgabe Bronze, nichtrostender Stahl (1.4571) oder Speziallegierungen (z. B. Monel) verwendet.



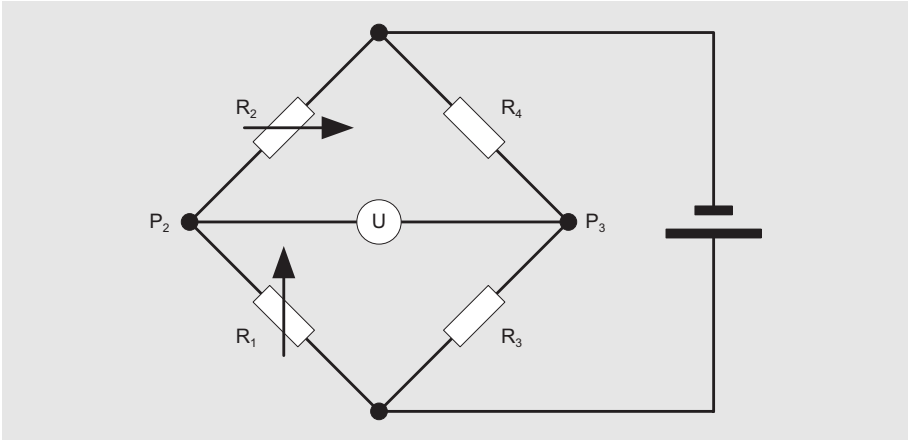
**Bild 3-3:** Prinzipielle Wirkungsweise des Rohrfeder-Messwerkes



**Bild 3-4:** Konstruktionen von Rohrfeder-Messwerken

### 3.1.3 Dehnungs-Messstreifen

Bei Verwendung von Dehnungs-Messstreifen als Drucksensoren ist die Messanordnung so aufgebaut, dass die eigentlichen Sensoren einer mechanischen Spannung ausgesetzt werden, die sich durch den Druck verändert. Das führt dazu, dass sich der spezifische Widerstand des Drucksensors verändert. Diese Widerstandsänderung kann elektrisch gemessen werden, wenn z. B. die Drucksensoren zu einer Brücke (Wheatstone-Brücke) verschaltet sind.



**Bild 3-5:** Wheatstone-Halbbrücke

Dehnungs-Messstreifen sind häufig auf ein Trägermaterial aufgebrachte Metallfolien. Damit eine ausreichend hohe Widerstandsänderung erreicht werden kann, wird die Leiterbahn mäanderförmig ausgeführt. Die Messeigenschaften werden durch Art und Anordnung dieses Gitters maßgeblich bestimmt und müssen auf die Anwendung abgestimmt sein. Die zur Druckmessung eingesetzten Dehnungsmesser bilden normalerweise zwei, im Bild die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$ , der Widerstandsleitungsarme in der Wheatstone-Brücke.

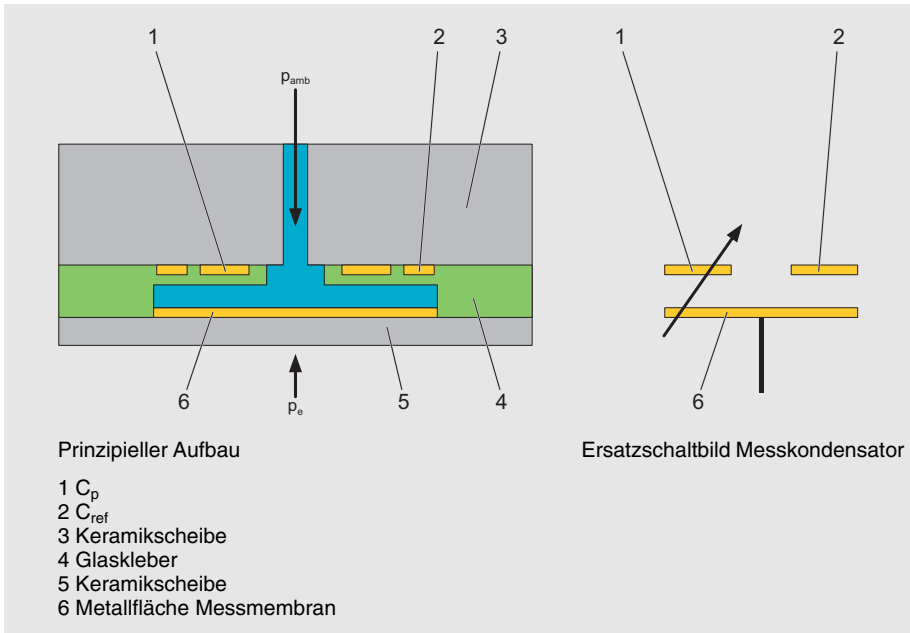
Feste Widerstandsnetzwerke in der Messumformerelektronik treten an die Stelle der anderen beiden Widerstandsleitungsarme. Wenn kein Druck ansteht, sind die Widerstandswerte der Dehnungs-Messstreifen und die festen Widerstände in der Messumformerelektronik gleich. Es gibt keine Spannungsdifferenz zwischen den Prüfpunkten  $P_2$  und  $P_3$ . Wenn jedoch Druck auf den Sensor aufgeübt wird, verändert sich der Widerstand der Dehnungs-Messstreifen, wodurch eine Unsymmetrie der Brücke entsteht. Es wird eine dem Druck proportionale Differenzspannung zwischen den Prüfpunkten erzeugt.

Die Messumformerelektronik bereitet dieses Spannungssignal auf und stellt es als analoges oder digitales Einheitssignal zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Nicht nur Druck- sondern auch Temperaturänderungen führen bei Dehnungs-Messstreifen zu Änderungen der mechanischen Spannung und damit zu einer Änderung des spezifischen Widerstandes. Bei der Auslegung der Druck-Messzelle ist deshalb besonders darauf zu achten, dass die Einflüsse der Umgebungstemperatur und der Prozesstemperatur auf den Drucksensor möglichst gering gehalten werden. Häufig wird direkt am Drucksensor eine Temperaturmessung durchgeführt, wodurch der entstehende Temperatureinfluss mit Hilfe der Messumformerelektronik kompensiert und so die Genauigkeit der Messung erhöht werden kann.

### 3.1.4 Drucksensor mit kapazitivem Abgriffsystem

Diese Drucksensoren sind so aufgebaut, dass sich durch eine Druckänderung eine elektrische Kapazität verändert. Der Kern des Sensors besteht aus einer Keramikscheibe auf der in geringem Abstand eine keramische Messmembran angebracht ist. Beide Teile sind an bestimmten Stellen mit Metall beschichtet, so dass sich zwischen Scheibe und Membran zwei Plattenkondensatoren bilden.



**Bild 3-6:** Drucksensor mit kapazitivem Abgriffsystem

Eine Isolierschicht aus Glas verhindert Kurzschlüsse. Durch Druck wird eine geringe elastische Durchbiegung der Membran verursacht und durch die damit verbundene Abstandsänderung eine Kapazitätsänderung des Kondensators  $C_p$ . Der Referenzkondensator  $C_{ref}$  bleibt unverändert. Die Messumformerelektronik misst diese druckproportionale Kapazitätsänderung und stellt sie als analoges oder digitales Einheitssignal zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

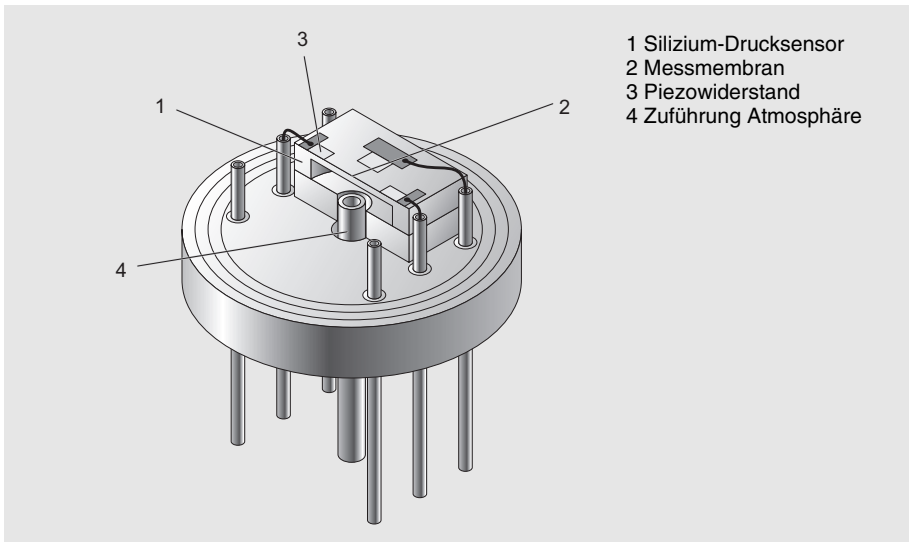
Die Vorteile der Verwendung von Keramik als Trägermaterial für die Kondensatorplatten sind hohe Linearität und geringe Hysterese. Auch diese Drucksensoren werden von Änderungen der Umgebungs- und Prozesstemperatur beeinflusst. Deshalb muss auch bei der Auslegung dieser Druck-Messzellen darauf geachtet werden, dass die Einflüsse auf den Drucksensor möglichst gering sind.

Häufig wird auch hier direkt am Drucksensor eine Temperaturmessung durchgeführt, wodurch der entstehende Temperatureinfluss mit Hilfe der Messumformerelektronik kompensiert und so die Genauigkeit der Messung erhöht werden kann.

### 3.1.5 Drucksensor mit piezoresistivem Abgriffsystem

Der Drucksensor ist hier ein Silizium-Chip, der in seinem Zentrum einen dünnen Bereich – die Messmembran – hat, der bezüglich Durchmesser und Dicke dem gewünschten Messbereich angepasst wird.

In der Membranzone sind Piezowiderstände in das Silizium implantiert. Anstehender Druck erzeugt im Silizium Spannungen, die wiederum zu einer Änderung des spezifischen Widerstandes führen. Man könnte diesen Drucksensor als die Halbleiterversion des zuvor erläuterten Dehnungs-Messstreifen bezeichnen.



**Bild 3-7:** Drucksensor mit piezoresistivem Abgriff

Die Anordnung der Piezowiderstände wird so gewählt, dass bei Druck zwei von ihnen ihren Wert vergrößern, während die anderen beiden ihren Wert verringern. Die vier Widerstände werden zu einer Brückenschaltung zusammengeschaltet und liefern der Messumformerelektronik ein überdruckproportionales Signal.



Der Silizium-Drucksensor befindet sich, durch eine Füllflüssigkeit geschützt, in der Druck-Messzelle. Das Messmedium gelangt nur bis zu einer richtkraftlosen Trennmembran. Der über den Prozessanschluss eingeleitete Überdruck  $p_e$  wird über die Trennmembran und die Füllflüssigkeit auf die Messmembran des Drucksensors übertragen. Die Rückseite des Sensors steht mit der umgebenden Atmosphäre in Verbindung, so dass eine korrekte Überdruckmessung sicher gestellt ist.

Die erforderliche Auslenkung der Messmembran ist so gering, dass dazu praktisch kein Messmedium verschoben werden muss. Die Messumformerelektronik versorgt den Drucksensor mit Konstantstrom, sie kompensiert den Temperatureinfluss und linearisiert die Kennlinie, so dass die Messzelle eine druckproportionale Ausgangsspannung abgibt. Die Überlastbarkeit reicht von 150 % bis 200 % der jeweils maximalen Messspanne der Messzelle.

## 3.2 Differenzdruck-Messzellen

Differenzdruck-Messzellen haben zwei Druckanschlüsse für zwei unterschiedliche Drücke, aus denen sie die Differenz bilden. Die besondere Anforderung an solche Messzellen liegt darin, dass sie eine sehr kleine Differenz zweier sehr großer Drücke zu messen haben und gleichzeitig dürfen auch mögliche Überlastungen die Messzellen nicht beschädigen.

Moderne Differenzdruck-Messzellen bestehen im Prinzip aus dem eigentlichen Messzellenkörper und den beiden damit über zwei O-Ring-Dichtungen druckdicht verschraubten Druckkappen. Die Druckkappen bilden zusammen mit Membrankörpern oder Trennmembranen die Messkammern in die das Messmedium eingeleitet wird.

Differenzdruck-Messzellen sollten folgende Merkmale aufweisen:

- Glatte Trennmembranen, an denen sich keine Schwebstoffe absetzen können.
- Werkstoffe (Trennmembranen, Füllflüssigkeiten, Druckkappen und O-Ringe) auswählbar, entsprechend der Aggressivität des Messmediums.
- Hohe Überlastsicherheit.

Die Druckkappen stellen gleichzeitig die für den Anschluss der Prozessdrücke benötigten Einschraubgewinde zur Verfügung.

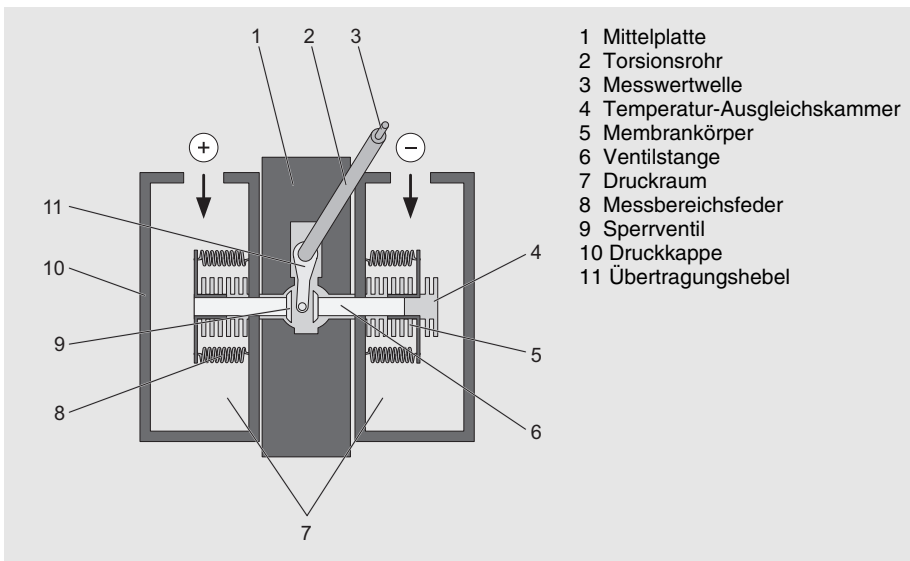
### 3.2.1 Differenzdruck-Messzelle mit mechanischem Abgriffsystem

Die hier beispielhaft vorgestellte Messzelle ist ein flüssigkeitsgefülltes Einkammersystem mit Membrankörpern und Messfedern. Diese Einheit wird nicht allen der oben definierten Anforderungen an Differenzdruck-Messzellen gerecht. Insbesondere die Forderungen nach glatten Trennmembranen und großer Auswahl an korrosionsbeständigen Werkstoffen können nicht erfüllt werden. Trotzdem werden sie an dieser Stelle aufgeführt, da die grundsätzliche Wirkungsweise einer Differenzdruck-Messzelle besonders anschaulich dargestellt werden kann.

Der in den Messkammern herrschende Druck wirkt auf die Flächen der Membrankörper, die untereinander mit der Ventilstange verbunden sind. Bei anstehendem Differenzdruck wird die Ventilstange von den Membrankörpern so lange verschoben, bis die entsprechende Gegenkraft der Messfedern erreicht ist.

Mit einem Torsionsrohr wird die Verschiebung der Ventilstange in eine Drehbewegung umgesetzt und aus dem druckbelasteten Raum heraus reibungsfrei übertragen. Der Ausschlag der Messwertwelle beträgt etwa 8 Winkelgrade für 100 % Messbereich.

Auf der Ventilstange sitzt je ein Ventilkegel für die Plus- und Minusseite, so dass bei entsprechend starker Auslenkung durch Überlast (etwa ab 115 % Messbereich) der Verbindungskanal zwischen den Membrankörpern verschlossen wird. Da die Füllflüssigkeit inkompressibel ist, können so die Membrankörper durch auftretende Überlastung nicht deformiert werden. Eine auf dem Membrankörper angebrachte Temperatur-Ausgleichskammer nimmt die durch Änderung der Umgebungstemperatur verursachten Volumenänderungen der Füllflüssigkeit ohne Rückwirkung auf den Messhub auf.



**Bild 3-8:** Wirkungsweise einer Differenzdruck-Messzelle

Die Messzelle kann zur Druckmessung für alle Messmedien eingesetzt werden, bei denen die in den Messkammern benetzten Bauteile aus nichtrostendem Stahl hinreichend beständig sind. Es ist leicht nachvollziehbar, dass verschmutzte oder auskristallisierende Messmedien wegen der Form der Membrankörper nicht zulässig sind.

Die Messzelle liefert ein mechanisches, druckproportionales Ausgangssignal an der Messwertwelle, mit dem Anzeiger, pneumatische Messumformer oder ein Differenzialtransformator angesteuert werden können.

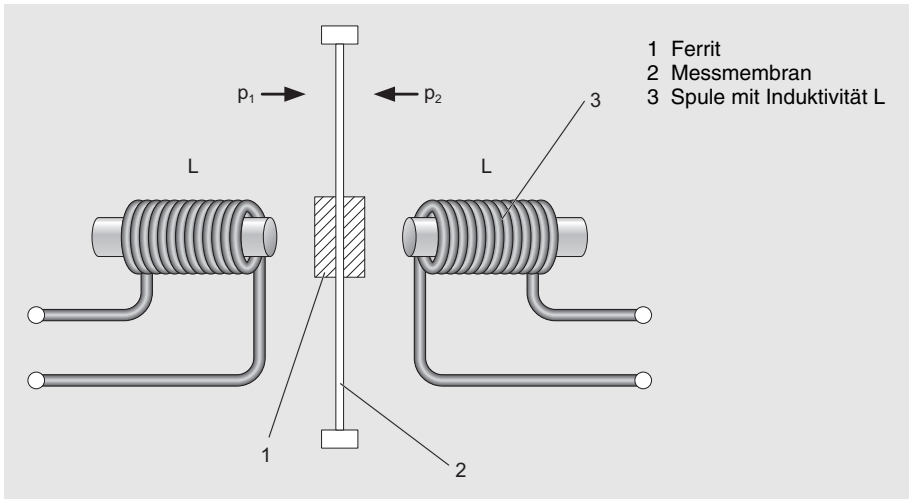
Bedingt durch den mechanischen Aufbau ergeben sich eine merkliche Hysterese, Linearitätsabweichungen und Temperatureinflüsse, die aber zum Teil durch die weiterverarbeitende Elektronik kompensiert werden können. Die Messzelle kann einseitig bis zum vollen zulässigen statischen Druck überlastet werden.

### 3.2.2 Differenzdruck-Messzelle mit induktivem Abgriffsystem

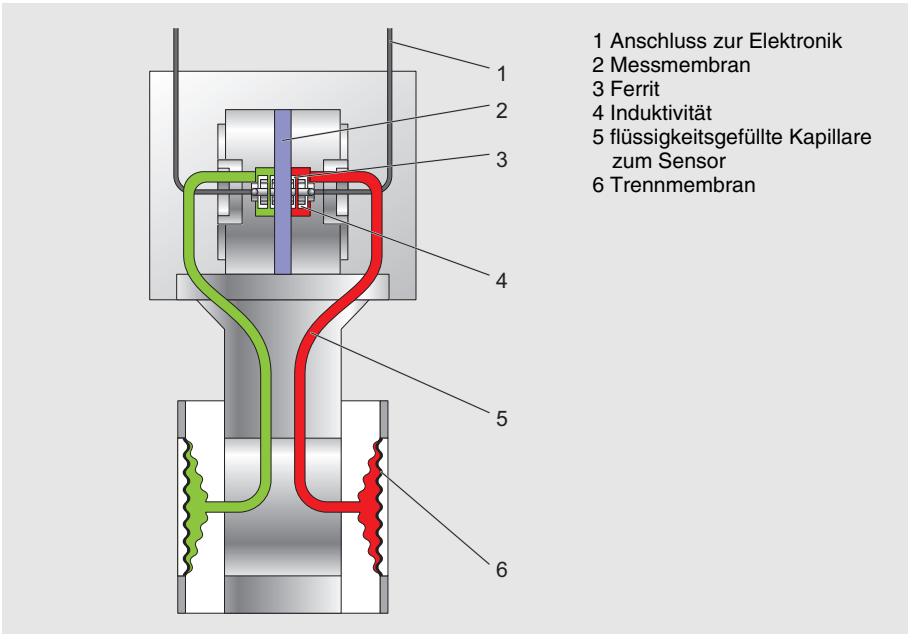
Bei dieser Messzelle handelt es sich um ein flüssigkeitsgefülltes Zweikammersystem mit glatten Trennmembranen und innenliegender Messmembran.

Das Kernstück des induktiven Abgriffsystems ist die Messkapsel mit einer mittig eingespannten Messmembran. Zwei hochelastische Trennmembranen schließen das Innere der Messzelle gegen die Messkammern (Messmedium) ab. Die Messmembran teilt den Innenraum der Messzelle in zwei Kammern auf. Man spricht hier von einer sogenannten Zweikammer-Messzelle. Die Ölfüllung des Zweikammersystems ist die hydraulische Kopplung zwischen den Trennmembranen und der Messmembran.

Der jeweilige Messbereich des Systems wird mechanisch durch die Dicke und die radiale Vorspannung der Messmembran festgelegt. Auf beiden Seiten der Messmembran ist je eine Ferritscheibe aufgesetzt. Gegenüber diesen Scheiben ist je eine Spule angebracht. Der Differenzdruck verursacht eine proportionale Auslenkung der Messmembran. Dadurch verändern sich die Positionen der Ferritscheiben zu den gegenüber liegenden Spulen und damit die Induktivität der Spulen.



**Bild 3-9:** Prinzip des induktiven Abgriffsystems



**Bild 3-10:** Ausgeführte Druck-Messzelle mit induktivem Abgriffsystem

### 3.2.3 Differenzdruck-Messzelle mit kapazitivem Abgriffsystem

Die hier beispielhaft vorgestellte Messzelle ist ein flüssigkeitsgefülltes Zweikammersystem mit glatten Trennmembranen und innenliegender Messmembran mit kapazitivem Abgriff. Das kapazitive Abgriffsystem befindet sich in einer Messkapsel aus Aluminiumoxidkeramik. Die Keramik hat für diese Anwendung günstige mechanische Eigenschaften, wodurch eine kleinere und leichtere Bauweise der Messzelle ermöglicht wird.

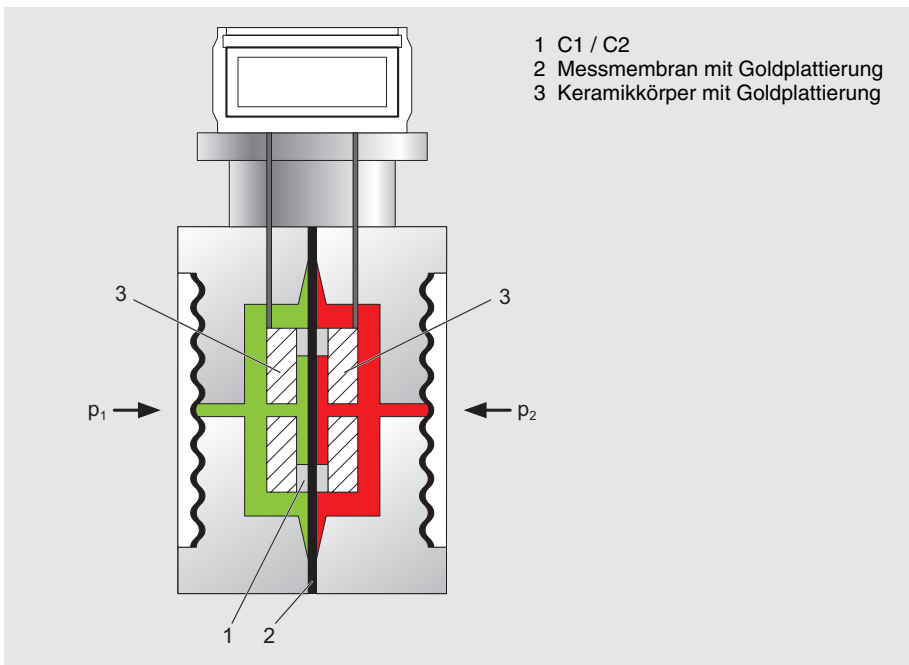
Die Messkapsel besteht aus zwei durchbohrten Keramikscheiben zwischen denen eine Messmembran, ebenfalls aus Keramik, druckdicht befestigt ist. Keramikscheibe und Messmembran sind teilweise mit Metall beschichtet, so dass zwischen Scheibe und Membran Plattenkondensatoren gebildet werden. Eine Isolierschicht aus Glas verhindert Kurzschlüsse. Wird die Messmembran von einem Druck durchgebogen, so führen die Abstandsveränderungen zwischen Scheiben und Membran zu entsprechenden Kapazitätsveränderungen.

Die Messkapsel ist über eine Überlastmembran elastisch mitten in der Messzelle befestigt. Messmembran und Überlastmembran teilen den Raum zwischen den weichen Trennmembranen in zwei gleiche Kammern, die mit einer Flüssigkeit zur Druck-

übertragung gefüllt sind. Die Messkapsel ist vollständig von der Druckübertragungsflüssigkeit umspült, was sich günstig auf die Messeigenschaften auswirkt.

Bei einseitiger Überlast kann die Messkapsel zusammen mit der Überlastmembran so weit ausweichen, bis eine der Trennmembranen sich in ihrer Hinterlegung abstützt. Dadurch wird der Innendruck in der Messzelle auf für die Messmembran unschädliche Werte begrenzt, so dass auch langzeitige Überlastungen zulässig sind.

Die elektrischen Anschlüsse sind druckdicht aus den beiden flüssigkeitsgefüllten Kammern herausgeführt und an eine in die Messzelle eingebaute Elektronik angeschlossen. Diese Elektronik wertet die Kapazitätsänderungen aus, kompensiert den Temperatureinfluss und linearisiert die Kennlinie, und stellt ein differenzdruckproportionales analoges oder digitales Einheitssignal zur Weiterverarbeitung für die Prozessautomatisierung zur Verfügung.



**Bild 3-11:** Aufbau eines kapazitiven Abgriffsystems

### 3.2.4 Differenzdruck-Messzelle mit piezoresistivem Abgriff

Piezoresistive Drucksensoren sind in den letzten Jahren weitverbreitet auch für Differenzdruck-Messzellen zum Einsatz gekommen.

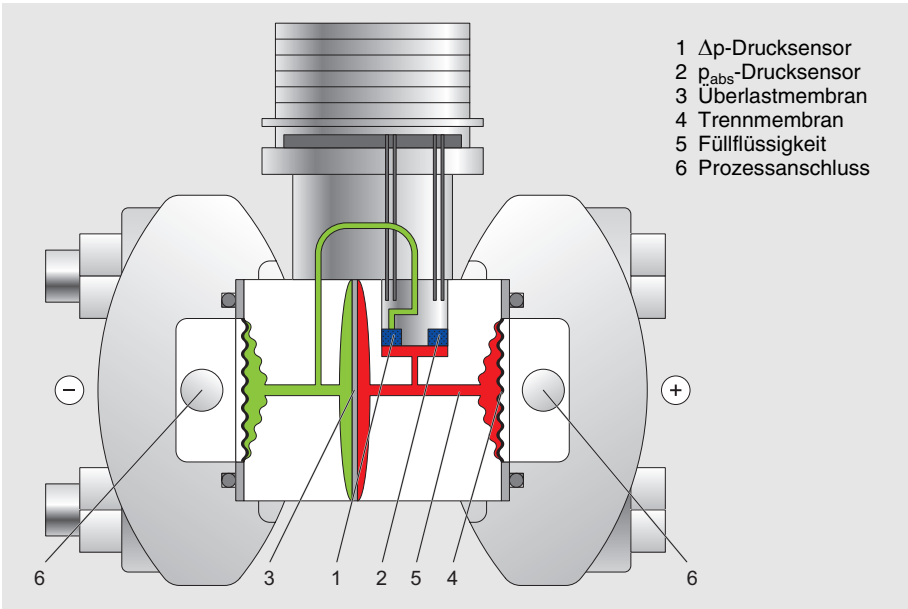
Der zu messende Druck wird von einem Siliziumkristall erfasst, der im Prinzip genauso aufgebaut ist wie bereits für Überdruck-Messzellen beschrieben. Der Kristall hat im Zentrum einen dünnen Bereich, nämlich die bezüglich Durchmesser und Dicke dem gewünschten Messbereich angepasste Messmembran. In diesem Bereich sind Piezowiderstände in das Silizium implantiert. Anstehender Druck erzeugt im Silizium Spannungen, die wiederum zu einer Änderung des spezifischen Widerstandes führen. Die Anordnung der Piezowiderstände ist so gewählt, dass zwei ihren Wert vergrößern, während die anderen beiden ihren Wert verringern. Die vier Widerstände werden zu einer Brückenschaltung zusammengeschaltet und liefern der Messumformerelektronik ein Signal, das proportional dem Differenzdruck ist.

### 3.2.5 Überlastfestigkeit von Differenzdruck-Messzellen

Es wurde bereits ausgeführt, dass Differenzdruck-Messumformer in der Lage sein müssen, sehr kleine Druckdifferenzen zu messen, wobei jeder der Einzeldrücke für sich hohe Werte annehmen kann.

Dabei ist nicht immer auszuschließen, dass diese Messumformer betriebsbedingt oder durch Fehlbedienungen auch einseitig dem vollen Rohrleitungsdruck ausgesetzt werden. Für solche Fälle sind Vorkehrungen zu treffen, die sicherstellen, dass der für kleine Druckmessbereiche ausgelegte Differenzdrucksensor nicht beschädigt oder sogar zerstört wird.

Deshalb sind die meisten heute verfügbaren Differenzdruck-Messzellen mit sogenannten Überlastsystemen ausgestattet, die bei einseitiger Überlastung den Differenzdrucksensor schützen. Das wird nachfolgend am Beispiel der Messzelle des Differenzdruck-Messumformers 266MST von ABB erklärt.



**Bild 3-12:** Aufbau einer Multisensor-Messzelle

Es handelt sich um eine Multisensor-Messzelle, die zwei piezoresistive Sensoren, den  $\Delta p$ -Sensor zur Differenzdruckmessung und den  $p_{\text{abs}}$ -Sensor, zur Prozessdruckmessung beinhaltet. Zum Schutz der Drucksensoren sind Trennmembranen vorhanden, die im Kontakt mit dem jeweiligen Messmedium stehen und in verschiedenen korrosionsbeständigen Materialien verfügbar sind. Der auf Hochdruckseite und Niederdruckseite anstehende Druck wird über eine Füllflüssigkeit zu den Drucksensoren übertragen.

Die Messzelle wird durch die Überlastmembran in zwei Kammern geteilt. Die Überlastmembran „sieht“ den gleichen Differenzdruck, mit dem auch der Differenzdrucksensor beaufschlagt wird. Die Federkennlinie der Überlastmembran ist an den Messbereich des Differenzdrucksensors angepasst und so ausgelegt, dass sie solange in Ruhestellung steht, wie der anstehende Differenzdruck den Messbereich des Sensors nicht überschreitet. Wenn der Differenzdruck größer wird als der Messbereich des Sensors, kommt es zu einer Verschiebung der Überlastmembran und damit zwangsläufig zu einer Verschiebung der Trennmembran auf der Seite, auf der der höhere Druck ansteht.

Die Füllflüssigkeit hinter der Trennmembran wird verdrängt, die Membran legt sich in eine dafür vorgesehene Hinterlegung. Sobald die Füllflüssigkeit auf dieser Seite vollständig verdrängt ist, kann es zu keinem weiteren Druckanstieg in der Messzelle kommen, weil das Übertragungsmedium fehlt. So kann durch die Auslegung der Überlastmembran der auf den Differenzdrucksensor wirkende Druck auf ein ungefährliches

Maß begrenzt werden, selbst wenn der einseitig anstehende Druck bis zu 410 bar beträgt.

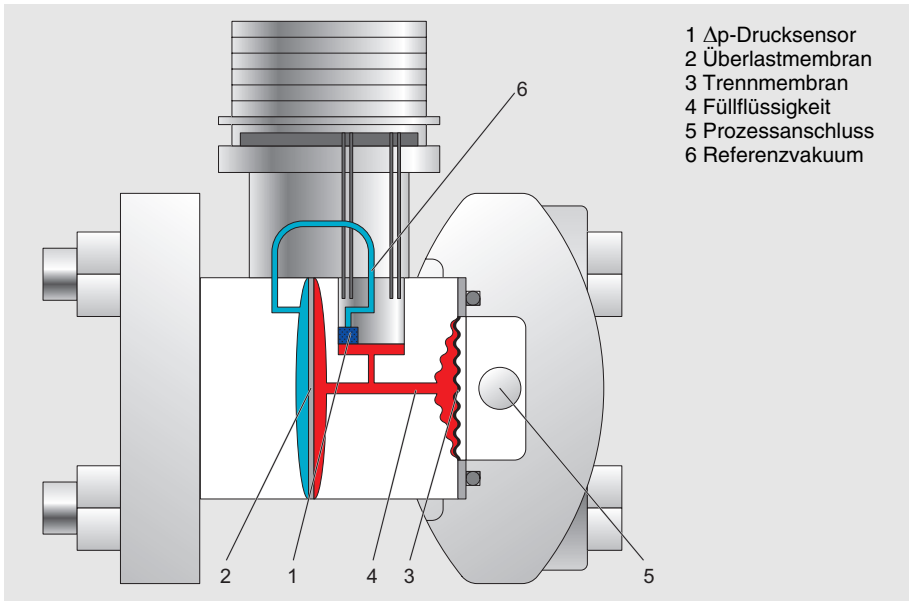
### 3.3 Absolutdruck-Messzellen

Absolutdruck-Messzellen messen den Druck gegen ein Vakuum als Referenz. Dafür können grundsätzlich sowohl Einheiten verwendet werden, die konstruktiv mit einer Druck-Messzelle vergleichbar sind, wie auch Geräte, die eine Differenzdruck-Messzelle als Basis haben.

Geräte, die als Basis eine Differenzdruck-Messzelle verwenden, werden eingesetzt, wenn die Anwendung sehr hohe zulässige Überlastdrücke, bezogen auf den Drucksensor-Messbereich, erfordert. Wenn das nicht der Fall ist, können für diese Anwendung die einfacher aufgebauten Druck-Messumformer eingesetzt werden.

Bei den Messzellen für Absolutdruckmessung ist Größe und Stabilität des Referenzvakuums von entscheidender Bedeutung. Je niedriger der Referenzdruck, möglich sind heute durchaus Werte von kleiner  $2 \times 10^{-2}$  mbar, desto höher ist die zu erreichende Genauigkeit. Die Dichtigkeit der Referenzkammer gewährleistet eine hohe Stabilität und damit lange Lebensdauer der Messzelle. Undichtigkeiten an dieser Stelle würden zu einem langsam ansteigenden Referenzdruck und damit zu Messfehlern führen.

#### 3.3.1 Differenzdruck-Messzelle zur Absolutdruckmessung



**Bild 3-13:** Aufbau einer Differenzdruck-Messzelle für die Absolutdruckmessung



Dargestellt ist die Differenzdruck-Messzelle, die bereits zuvor beschrieben wurde, und zwar in einer Ausführung für die Absolutdruckmessung. Der grundsätzliche Aufbau einschließlich Überlastmembran, Trennmembran und Füllflüssigkeit auf der Hochdruckseite ist unverändert. Die Niederdruckseite hat weder Trennmembran noch Füllflüssigkeit, sondern stellt die Referenzkammer für das Vakuum dar. Da alle Teile verschweißt sind, ist eine hohe Dichtigkeit für große Stabilität und lange Lebensdauer gegeben.

### **3.3.2 Druck-Messzelle zur Absolutdruckmessung**

Auch bei Druck-Messzellen für die Absolutdruckmessung ist der Aufbau weitgehend identisch mit den Überdruck-Messzellen des gleichen Messprinzips. Die Verbindung zur Atmosphäre, die bei Überdruck-Messzellen zwingend erforderlich ist, entfällt natürlich. Dafür ist eine Referenzkammer für das Vakuum erforderlich.

Bei Verwendung von piezoresistiven Drucksensoren ist das Referenzvakuum häufig bereits in den Siliziumchip integriert. Dadurch sind keine zusätzlichen Dichtstellen erforderlich. Das stellt auch in diesem Fall hohe Messgenauigkeit und lange Lebensdauer sicher.



## 4 Druckfühler

Als Druckfühler werden Trennmembransysteme bezeichnet, die einerseits an eine Prozessleitung oder einen Behälter und andererseits an einen Druck-Messumformer oder Differenzdruck-Messumformer angeschlossen werden. Sie übertragen den an der Trennmembran anstehenden Prozessdruck über ein flüssigkeitsgefülltes Kapillarrohr zum Messumformer.

Bei der Projektierung von Messstellen für Druck-, Differenzdruck-, Durchfluss- und Füllstandmessungen müssen häufig erschwerte, zum Teil sogar kritische, Betriebs- und Umgebungsbedingungen bei der Geräteauswahl berücksichtigt werden.

Hohe Temperaturen, zähflüssige und/oder korrosive Messmedien setzen dem Anwendungsbereich von Messgeräten in Standardausführung Grenzen. In solchen Fällen können Druckfühler, die unmittelbar an die Wirkdruckentnahmen der Lagerbehälter, Kondensatoren, Rohrleitungen usw. angeflanscht oder angeschraubt werden, verhindern, dass das Messmedium mit dem Messumformer in Berührung kommt.

Die Länge der Kapillarrohre zwischen Messumformer und Druckfühler ist in gewissen Grenzen frei wählbar. Dadurch ist es möglich den Montageort eines Messumformers an eine gut zugängliche Stelle zu legen, wodurch z. B. Wartungsarbeiten bequem und problemlos ausgeführt werden können.



**Bild 4-1:** Differenzdruck-Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler und Druckfühler mit Kapillarrohr



**Bild 4-2:** Druck-Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler

Druckfühler werden dann empfohlen, wenn das Messmedium nicht in die Messkammern des Messumformers eingeleitet werden soll oder darf. Das kann der Fall sein, wenn:

- Das Messmedium stark korrodierend ist.
- Das Messmedium verschmutzt, mit Festkörpern beladen oder viskos ist und infolge dessen die Wirkdruckleitung verschmutzen kann.
- Das Messmedium bei Abkühlung, wie sie in Wirkdruckleitungen in der Regel vorkommt, in den festen oder zumindest in einen hochviskosen Zustand übergehen kann.
- Das Messmedium zu gefährlich ist, um über Wirkdruckleitungen und Absperrarmaturen und das damit verbundene Risiko eines Lecks, in den Bereich zu leiten, in dem der Messumformer montiert werden kann.
- Der Messumformer vom Prozess entfernt montiert werden muss, um eine bessere Zugänglichkeit zu erreichen.
- Die Prozesstemperatur die zulässigen Höchstgrenzen für den Messumformer überschreitet und über die Führung der Wirkdruckleitungen keine ausreichende Abkühlung sichergestellt werden kann.

## 4.1 Wirkungsweise

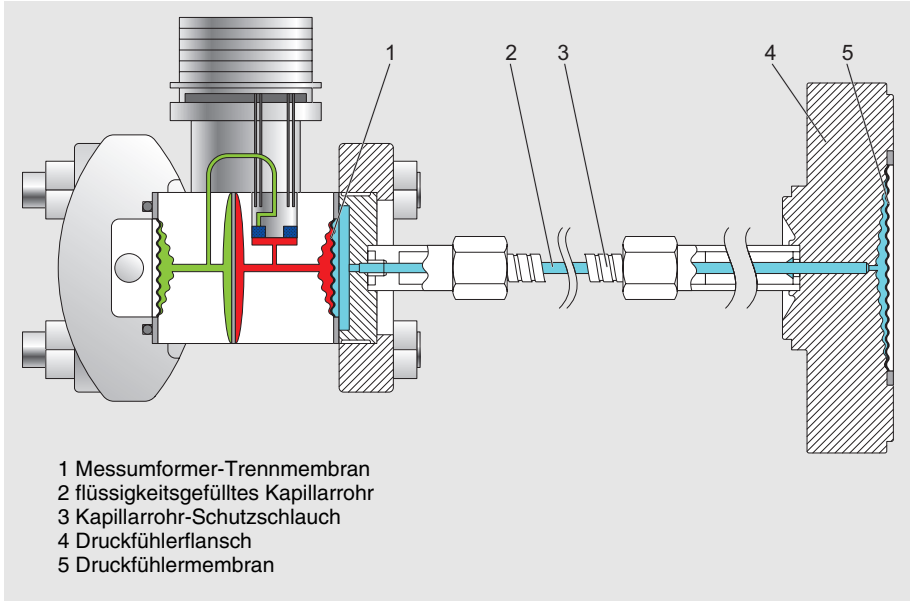
Der Druckfühler ist mit der Messzelle des Messumformers durch ein flüssigkeitsgefülltes Kapillarrohr verbunden. Der auf die Membran des Druckfühlers wirkende Druck wird über die Flüssigkeit im Kapillarrohr auf die Messzelle übertragen. Druckfühler gibt es in verschiedenen Bauformen, so dass die Montage durch Flansche, Einschraubgewinde, hygienische Anschlüsse usw. an die prozesseitig vorhandene Anschluss-technik angepasst werden kann.

Die Länge des Kapillarrohres wird in erster Linie durch die jeweilige Messanordnung bestimmt. Sie unterliegt, in Abhängigkeit von Montageart und verwendeter Füllflüssigkeit, gewissen Einschränkungen, die im Kapitel 9 „Installation von Druck-Messumformern“ ausführlich beschrieben sind.

Das Kapillarrohr ist gegen mechanische Beschädigungen durch einen Stahlschlauch geschützt. Rohr und Schutzschlauch bestehen aus nichtrostendem Stahl. Der Schutzschlauch kann zusätzlich mit einem Kunststoffüberzug versehen werden. Das Kapillarrohr ist am Druckfühler und am Messumformer verschweißt.

Das Druckfühlersystem muss unter Vakuum mit Flüssigkeit gefüllt werden, um Gaseinschlüsse im System zu vermeiden. Somit ist eine einwandfreie Druckübertragung vom Druckfühler zur Messzelle sichergestellt. Schon geringste Gasmengen in der Füllflüssigkeit führen, insbesondere bei Anwendungen im Unterdruckbereich, zu erhöhten Messfehlern. Sie können unter Umständen sogar zur Beschädigung des gesamten Messsystems führen.

Aus diesem Grund wird dem Füllprozess ganz besondere Beachtung geschenkt. Die Konstruktion der Druckfühler ist so ausgelegt, dass die Überdruck- bzw. Überlastsicherheit durch die Mechanismen sichergestellt wird, die dafür bereits in der Messzelle implementiert sind. Das bedeutet, ohne zusätzliche Maßnahmen ist der Messumformer mit angebauten Druckfühlern genauso überlastfest wie die jeweils angeschlossene Messzelle.



**Bild 4-3:** Differenzdruck-Messzelle mit Druckfühler mit Kapillarrohr

## 4.2 Einfluss auf die Messgenauigkeit

Die Linearität von Druck-Messumformern bzw. Differenzdruck-Messumformern wird durch die aktuelle Messzellen-Technologie nur noch selten durch den Anbau von Druckfühlern beeinflusst. Anders sieht es aus, wenn die Prozess- und/oder die Umgebungstemperatur schwankt. Jede Temperaturänderung bewirkt eine Volumenänderung der Füllflüssigkeit innerhalb des Druckfühlersystems. Diese Volumenänderung muss in erster Linie durch eine Verschiebung der Druckfühlermembran ausgeglichen werden.

Alle Membranen besitzen eine gewisse Eigensteifigkeit und setzen somit der Verschiebung einen gewissen Widerstand entgegen. Deshalb führt eine Temperaturänderung immer zu einer Veränderung des Drucks innerhalb des Druckfühlersystems, die sich letztlich als Nullpunktverschiebung des Messsignals bemerkbar macht.

Dieser Effekt wird neben der Höhe der Temperaturänderung hauptsächlich durch zwei Größen beeinflusst, nämlich der Menge des Füllvolumens und der Eigensteifigkeit der Druckfühlermembran. Die Menge des Füllvolumens wird entscheidend bestimmt durch die Länge der Kapillarrohre, und die Eigensteifigkeit der Membran wird durch ihren Durchmesser beeinflusst. Konstruktiv sind Druckfühlersysteme bezüglich Membranstärke, Füllvolumen und Kapillarrohrdurchmesser so optimiert, dass in Verbindung mit dem jeweiligen Messumformer einerseits die Funktion über den gesamten zulässigen Druck- und Temperaturbereich sichergestellt ist und andererseits das Füllvolumen auf ein Minimum reduziert wird.

Besonders wichtig für zuverlässige Funktion und hohe Messgenauigkeit von Druckfühlern ist die Dichtigkeit des gesamten Systems. Sollte das System durch Leckagen Flüssigkeit verlieren oder Luft aufnehmen, hat das schwerwiegende Auswirkungen auf die Messgenauigkeit bis hin zum Ausfall der gesamten Messung. Deshalb werden Druckfühlersysteme von ABB vollständig verschweißt, um genau diese negativen Einflüsse auszuschließen.

Die Einflussmöglichkeiten des Anwenders auf die Erhöhung der Genauigkeit einer Messanordnung mit Druckfühlern sind:

- Durchmesser der Druckfühlermembran und damit die Nennweite des Druckfühlers unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Forderungen so groß wie möglich wählen, um eine geringe Eigensteifigkeit zu erreichen.
- Kapillarrohre so kurz wie möglich halten, um eine möglichst geringe Füllmenge im System zu erreichen.
- Bei Differenzdruck-Messumformern mit zwei Druckfühlern das System symmetrisch aufbauen, d. h. gleiche Druckfühler und Kapillarrohrlängen auf beiden Seiten, damit sich Einflüsse auf die Genauigkeit möglichst gegenseitig aufheben.

### 4.3 Einfluss auf die Einstellzeit

Das Zeitverhalten von Messumformern kann durch Druckfühler ebenfalls beeinflusst werden. Messzellentyp, Messspanne, Kapillarrohlänge und die temperaturabhängige Viskosität der Füllflüssigkeit sind hier die bestimmenden Einflussfaktoren. Der auf den Druckfühler wirkende Druck muss ein Flüssigkeitsvolumen verschieben, um in der angeschlossenen Messzelle die Messmembran zu verschieben und damit die Messung des Drucks, entsprechend dem jeweiligen Abgriffsystem, zu ermöglichen. Dieses Flüssigkeitsvolumen wird Verschiebevolumen genannt und hängt ganz entscheidend vom verwendeten Sensorprinzip und von der Konstruktion der Messzelle ab.

Der Einfluss auf das Zeitverhalten wird durch die Art und die Menge der zu verschiebenden Füllflüssigkeit und vom Durchmesser und von der Länge des Kapillarrohrs beeinflusst. Der Durchmesser des Kapillarrohrs ist im allgemeinen vom Hersteller des Druckfühlersystems festgelegt, die Länge kann in gewissen Grenzen vom Anwender beeinflusst werden. Auch die Wahl der Füllflüssigkeit ist nicht völlig frei, sondern muss anwendungsspezifische Anforderungen, wie Temperaturbereich, Verträglichkeit mit dem Messmedium usw. berücksichtigen

Deshalb muss an Messstellen, die hohe Anforderungen an die Einstellzeit haben, sorgfältig überprüft werden, ob der Einsatz von Druckfühlern, so vorteilhaft er auch aus anderen Gründen sein mag, für den speziellen Fall sinnvoll ist. Andererseits bewegt sich bei der modernen Sensortechnologie das Verschiebevolumen häufig in einer Größenordnung, die den Einfluss auf die Einstellzeit nur sehr gering werden lässt. Dies gilt, wenn sich die Kapillarrohrlängen im Bereich von nur einigen Metern bewegen und die Betriebstemperaturen oberhalb des Gefrierpunktes liegen.

### 4.4 Auswahl der Füllflüssigkeit

Wie bereits für den Messumformer ohne Druckfühler beschrieben, ist es auch beim Einsatz von Druckfühlern wichtig, die richtige Füllflüssigkeit zu wählen. Die bereits dort genannten Kriterien gelten auch beim Einsatz mit Druckfühler. Anders als im Messumformer kommt aber die Druckfühler-Füllflüssigkeit nicht mit dem Drucksensor oder dem Abgriffsystem, also mit elektrischen Baugruppen, in Berührung. Aus diesem Grund ist in der Regel die Auswahl an möglichen Füllflüssigkeiten für Druckfühlersysteme sehr viel höher als beim Messumformer. Das ist besonders dann vorteilhaft, wenn es um die Verträglichkeit von Messmedium und Füllflüssigkeit geht.

Ganz besonders Differenzdruck-Messzellen bieten in der Regel nur eine sehr eingeschränkte Auswahl an Füllflüssigkeiten. In solchen Fällen können die Anforderungen vom Messmedium mit Hilfe der unterschiedlichsten Druckfühler-Füllflüssigkeiten sehr viel besser erfüllt werden. Das ist oft genug ein weiterer wichtiger Grund für den Einsatz von Druckfühlern.

## 4.5 Bauformen von Druckfühlern

<p><b>Druckfühler in Flanschbauweise</b> Druckfühler mit festem oder drehbarem Flansch für die Realisierung von Prozessanschlüssen gemäß EN-, JIS und ASME-Standards.</p>	
<p><b>Ring-Joint-Ausführung</b> Druckfühlertyp in Flanschbauweise gemäß ASME eignet sich durch seine Dichtform besonders für Prozesse mit hohen Drücken und Temperaturen.</p>	
<p><b>Wafer-Ausführung</b> Die Wafer-Ausführung bietet eine große Bandbreite unterschiedlicher Optionen und erfüllt so alle anwendungsspezifischen Anforderungen auf besonders wirtschaftliche Weise. Die Ausführung wird durch Spülringe und verschiedene Dichtungen komplettiert.</p>	
<p><b>Ausführung mit innenliegender Membran</b> Diese Version ist mit Prozessanschlüssen in Gewinde- oder Flanschausführung gemäß ASME und EN erhältlich. Sie eignet sich insbesondere für Flüssigkeiten mit mittlerer Viskosität ohne Schweb- oder Feststoffe.</p>	
<p><b>Druckfühler für den Hygiene- und Nahrungsmittelbereich</b> Die Druckfühler entsprechen den strengen Anforderungen der 3-A-Norm. Das breite Spektrum verfügbarer Anschlüsse (Tri-Clamp, Cherry Burrel, Überwurfmutter und hygienischer Anschluss) gestaltet die Anpassung an prozessspezifische Erfordernisse besonders komfortabel.</p>	



<p><b>Druckfühler für Schraubanschluss</b>  Dieser Druckfühlertyp in der voll verschweißten Ausführung, direkt eingeschraubt oder in Flansche geschraubt, stellt eine sehr kompakte Lösung für Überdruckmessungen dar.</p>	
<p><b>Chemical Tee-Ausführung</b>  Dieser Druckfühler eignet sich insbesondere für Durchflussmessungen in der chemischen und petrochemischen Industrie, wenn als Primärgerät ein Wedgemeter verwendet wird.</p>	
<p><b>Button-Ausführung</b>  Dieser Druckfühler ist speziell für die Kunststoffindustrie geeignet. Er eignet sich für Anwendungen mit hohen Drücken und Temperaturen und zeichnet sich durch sehr geringe Abmessungen aus.</p>	
<p><b>Rohr-Druckfühler</b>  Rohr-Druckfühler werden in die Prozessverrohrung integriert, wobei das Messmedium den Druckfühler durchströmt. Anwendung findet dieser Druckfühlertyp in der Regel bei hochviskosen Messmedien.</p>	
<p><b>Druckfühler für die Papierindustrie</b>  Dieser speziell für die in der Papierindustrie gebräuchliche Anschlussstechnik ausgelegte Druckfühler verhindert ein Zusetzen der Druckaufnehmer. Er kann zur Verbesserung der Funktionseigenschaften mit einer Antihaftbeschichtung versehen werden.</p>	

<p><b>Druckfühler für die Harnstoffverarbeitung</b> Dieser Druckfühler ist speziell für die korrosiven Bedingungen bei der Harnstoffverarbeitung ausgelegt. Zum Nachweis der Qualität ist er Huey-Test lieferbar.</p>	
<p><b>Block- und Sattelflansch-Druckfühler</b> Dieser Druckfühler wird bietet sich an, wenn die Montage so dicht wie möglich an der Rohrleitung erfolgen soll. Er eignet sich insbesondere für die Druckmessung von hochviskosen Medien.</p>	

## 5 Die Elektronik von Druck-Messumformern

Die Elektronik eines Druck-Messumformers hat die Aufgabe, das elektrische Ausgangssignal des Drucksensors in ein Signal umzuwandeln, das den Ansprüchen der Regelungstechnik gerecht wird. Hierzu gehört neben der Verstärkung des Signals z. B. auch die Korrektur der Unlinearität des Drucksensors, der Umgebungstemperatur und des statischen Drucks.

Grundsätzlich kann das mit analoger Technologie gemacht werden. Bei modernen Druck-Messumformern erfolgt die Signalverarbeitung aber in der Regel programmgesteuert in digitaler Technik. Für den Anwender hat das den Vorteil einer höheren Genauigkeit und einfacheren Bedienung.

### 5.1 Die Komponenten der Elektronik

Die Elektronik setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, deren Funktionen im folgenden detaillierter betrachtet werden.

#### 5.1.1 Hauptelektronik

Die Hauptelektronik beinhaltet typischerweise sämtliche Bauteile, die zur Erzeugung des analogen Ausgangssignals, der digitalen Kommunikation, der Signalaufbereitung, Steuerung des Programmablaufs etc. notwendig sind. Je nach Bauweise des Druck-Messumformers kann es weitere elektronische Baugruppen geben. In der Messzelle kann eine zusätzliche Elektronik zur elektrischen Anpassung der Drucksensorensignale an die Komponenten der Hauptelektronik vorhanden sein. Bei multivariablen Messumformern erfolgt zusätzlich die Messung der Prozesstemperatur. Ein nachrüstbarer digitaler Anzeiger hat ebenfalls eine separate Elektronik.

#### 5.1.2 Anpassung

Die Anpassung (Front-End) ermöglicht den Anschluss unterschiedlicher Drucksensoren. Während piezoresistive Sensoren ein analoges Ausgangssignal liefern, das direkt verstärkt werden kann, ändert sich bei kapazitiven oder induktiven Sensoren lediglich der Blindwiderstand des Abgriffs. Damit hieraus ein elektrisches Signal gewonnen wird, bilden jeweils zwei Kondensatoren oder zwei Induktivitäten zusammen mit zwei Widerständen eine Brückenschaltung. Diese Brückenschaltung wird mit einer Wechselspannung gespeist. Die Ausgangsspannung wird gleichgerichtet und ist proportional zum Druck, der auf den Sensor wirkt.

Die Anpassung ist bei manchen Messumformern von der Hauptelektronik getrennt. Bei entsprechendem Abgleich kann dann im Fehlerfall oder zum Wechsel der Kommunikationsart die Hauptelektronik getauscht werden, ohne dass die Anpassung des Drucksensors beeinflusst wird. In diesem Fall befinden sich in der Anpassung zusätzliche digitale Speicherbausteine, die sämtliche Einstelldaten der Hauptelektronik und die Abgleichdaten des Drucksensors enthalten. Einen Austausch der Hauptelektronik

erkennt der Messumformer sobald er an die Energieversorgung angeschlossen wird. Die Parameter aus dem Speicher in der Anpassung werden dann in die Hauptelektronik geladen und der Messumformer arbeitet sofort mit diesen Einstelldaten. Bei einer Änderung des Kommunikationsprotokolls müssen allerdings eventuell fehlende Parameter (z. B. PROFIBUS-Adresse beim Wechsel von HART zu PROFIBUS) zusätzlich eingestellt werden.

### 5.1.3 Analog-/Digital-Wandlung

Die Ausgangsspannung der Anpassung wird verstärkt und einem Analog-/Digital-Wandler zugeführt. Dieser hat die Aufgabe, in möglichst kurzer Zeit bei möglichst hoher Genauigkeit, den gemessenen analogen Wert in ein digitales Signal umzuwandeln. Die nachfolgend beschriebenen Eigenschaften und Kenndaten eines Analog-/Digital-Wandlers haben dabei Einfluss auf das Verhalten des Messumformers.

Die Zykluszeit des Analog-/Digital-Wandlers gibt an, wieviel Zeit benötigt wird, um einen einzelnen Messwert zu digitalisieren. Je niedriger die Zykluszeit ist, umso direkter kann das Ausgangssignal dem tatsächlich gerade gemessenen Druck folgen. Bei einer Zykluszeit von 10 ms werden hundert neue Messwerte pro Sekunde erzeugt, bei 100 ms wären es dagegen nur zehn.

Die Auflösung des Analog-/Digital-Wandlers wird üblicherweise in Bit angegeben. Bei einer Auflösung von 12 Bit wird das analoge Eingangssignal in 16384 (214) Stufen in digitale Werte umgewandelt. Eine einzelne Stufe entspricht dabei etwa 0,006 % der gesamten Spanne. Unter Berücksichtigung des üblichen +/- -Bereiches und von Toleranzen zur Anpassung unterschiedlicher Drucksensoren, haben die Stufen etwa eine Größe von 0,015 % und kommen damit in den Bereich der Kennlinienabweichung. Eine zusätzliche Spreizung der Messspanne von 1:10, um den Messumformer der Messaufgabe anzupassen, führt dann schon zu Stufen in der Größe von 0,15 %. Die Auflösung der Analog-/Digital-Wandler liegt derzeit in der Größenordnung von 18 bis 24 Bit. Bei diesen hohen Auflösungen sind in der Regel andere Einflüsse größer als die Digitalisierungsstufen der Analog-/Digital-Wandlung.

Bei Druck-Messumformern hat die Genauigkeit bei der Analog-/Digital-Wandlung mehr Gewicht als die Geschwindigkeit. Allerdings kommen in der Praxis auch Messungen vor, bei denen es mehr auf Geschwindigkeit als auf Genauigkeit ankommt. Um den Druck-Messumformer an diese unterschiedlichen Forderungen anpassen zu können, ist bei manchen Geräten eine zusätzliche, einstellbare Integrationszeit vorhanden. Diese wird für die Mittelwertbildung über mehrere Messwerte genutzt. Je nach Art und Auflösung des Analog-/Digital-Wandlers kann hiermit die Genauigkeit und Stabilität des Ausgangssignals mit höherer Integrationszeit verbessert werden, während die Messung insgesamt etwas langsamer wird.

Die Anzahl der Messwerte, die für die Mittelwertbildung herangezogen werden, ergibt sich dabei aus der Integrationszeit, geteilt durch die Zykluszeit des Analog-/Digital-Wandlers. Bei einer sprunghaften Änderung des Eingangswertes ändert sich der Ausgang nach der Integration in kleinen Stufen entsprechend der Anzahl der Messwerte für die Mittelwertbildung und der Zykluszeit.

Bei einer Integrationszeit von z. B. 800 ms und einer Zykluszeit von 10 ms, erfolgt somit die Mittelwertbildung über 80 Messwerte. Wenn der Eingangswert des Analog-/Digital-Wandlers sich sprunghaft von 0 auf 100 % ändert, folgt der Ausgang diesem Sprung in 80 Stufen, die jeweils eine Dauer von 10 ms haben. Nach 800 ms ist der Endwert erreicht. Der Anstieg ist hierbei linear, während die zusätzlich einstellbare Dämpfung des Ausgangssignals typischerweise nach einer Exponentialfunktion erfolgt.

Durch Kombination einer kleinen Zykluszeit mit zusätzlicher Mittelwertbildung der Messwerte, folgt das Ausgangssignal relativ schnell dem Trend einer schnellen Änderung des Eingangswertes, auch wenn der Endwert bei einem Sprung des Eingangswertes erst nach der Integrationszeit erreicht wird. Der Messwert selbst wird dabei stabiler und genauer. Durch Einstellung der Integrationszeit lässt sich der Messumformer an die Messaufgabe anpassen.

Analog-/Digital-Wandler mit sehr hoher Auflösung sind so empfindlich, dass Einflüsse, wie z. B. das unvermeidbare thermische Rauschen elektronischer Bauteile (Widerstände, Transistoren, etc.), höher sind, als die Digitalisierungsstufen. In diesem Fall bewirkt die Mittelwertbildung vor allem eine Stabilisierung der Messwerte.

Das Temperaturverhalten des Analog-/Digital-Wandlers beeinflusst die Genauigkeit in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Wenn sich der Analog-/Digital-Wandler in der Nähe des Drucksensors in der Messzelle befindet, erfolgt die Korrektur des Temperaturverhaltens typischerweise gemeinsam mit dem Temperaturabgleich des Sensors. Befindet sich der Analog-/Digital-Wandler in der Hauptelektronik, kann unter Umständen ein separater Temperaturabgleich erforderlich sein.

Die Kennlinie des Analog-/Digital-Wandlers muss linear sein. Leichte Krümmungen werden gemeinsam mit der Kennlinie des Drucksensors korrigiert. Nonlinearitäten, wie sie z. B. durch unterschiedliche Stufengrößen auftreten, können allerdings so nicht korrigiert werden.

### 5.1.4 Digital-/Analog-Wandlung

Der Digital-/Analog-Wandler hat die Aufgabe, den digital vorliegenden Ausgangswert in ein analoges Signal zu wandeln, bevor dieser auf die üblichen 4...20 mA normiert wird. Typischerweise ist der Digital-/Analog-Wandler Bestandteil der Hauptelektronik.

Weil das Ausgangssignal keinen +/- -Bereich hat und auch keine Spreizung mehr notwendig ist, werden hier an die Auflösung nicht ganz so hohe Ansprüche gestellt. Die Zykluszeit hingegen entspricht in der Regel der des Analog-/Digital-Wandlers. Zusätzliche Mittelwertbildungen sind nicht üblich und würden in diesem Fall keine zusätzlichen Vorteile bringen.

Für den Digital-/Analog-Wandler ist wichtig, dass die Kennlinie streng linear verläuft. Abweichungen der Linearität durch eine gekrümmte Kennlinie werden nicht wie beim Analog-/Digital-Wandler bei der Kennlinienkorrektur des Sensors mit erfasst. Temperatureinflüsse die die Genauigkeit herabsetzen können, werden mit einem separaten Sensor erfasst und bereits bei der digitalen Aufbereitung des Messwertes korrigiert.

Der Anwender kann den Anfangs- und Endwert (4 mA und 20 mA) nachträglich anpassen. Hierzu ist ein Bedientool und ein Messgerät hinreichender Genauigkeit erforderlich. In der Praxis kann es sinnvoll sein, den Digital-/Analog-Wandler so abzugleichen, dass er den Fehler der analogen Eingangskarte der SPS korrigiert. In diesem Fall werden die mA-Werte, die in der SPS angezeigt werden, zur Korrektur verwendet. Wird der Messumformer später an einer anderen Eingangskarte verwendet, muss diese Korrektur allerdings erneut durchgeführt werden.

Für digitale Messwerte, wie sie z. B. bei der HART-Kommunikation übertragen werden, ist keine Digital-/Analog-Wandlung erforderlich. Bei Messumformern für PROFIBUS, FOUNDATION fieldbus oder Modbus ist ebenfalls kein Digital-/Analog-Wandler notwendig.

## 5.2 Digitale Signalaufbereitung

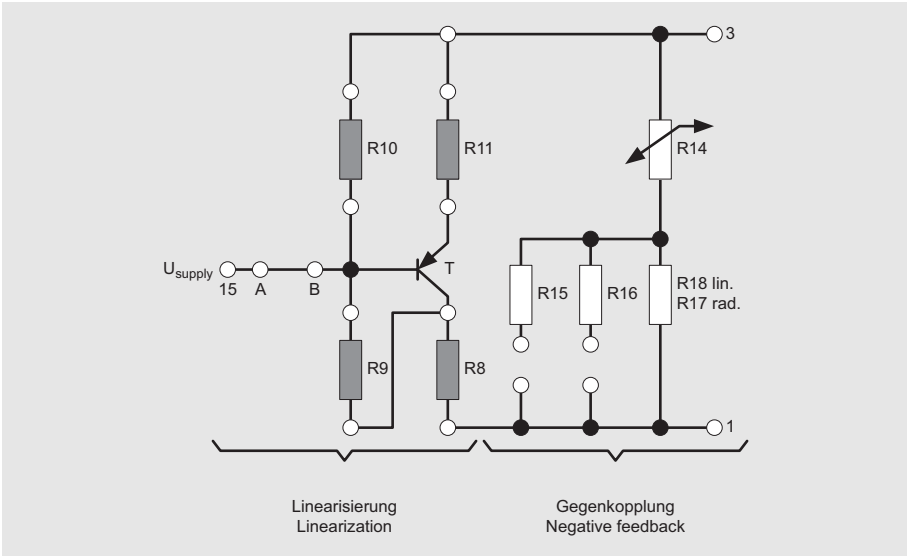
Der Messwert, wie er nach der Analog-/Digital-Wandlung in digitaler Form vorliegt, muss aufbereitet werden, bevor er nach der Digital-/Analog-Wandlung bzw. als digitales Signal ausgegeben werden kann. Einerseits ist die Kompensation der Einflüsse notwendig, die neben dem gemessenen Druck auf den Drucksensor einwirken. Und andererseits muss das Ausgangssignal der eigentlichen Messaufgabe angepasst werden.

### 5.2.1 Kompensation

Bei den üblicherweise verwendeten Drucksensoren ändert sich das elektrische Ausgangssignal proportional zum anliegenden Druck. Des weiteren werden die Messzellen in der Regel so aufgebaut, dass Änderungen der Prozess- und Umgebungsbedingungen einen möglichst geringen Einfluss auf die Messgenauigkeit ausüben. In der Praxis sind die Anforderungen an einen Druck-Messumformer so hoch, dass es zusätzlich erforderlich ist, die Kennlinie zu linearisieren und die Einflüsse der Prozess- und Umgebungsbedingungen zu kompensieren.

#### Kennlinienlinearisierung

Die Kennlinie eines Drucksensors ist im Idealfall exakt linear. In der Praxis zeigt sich jedoch bei sehr genauer Betrachtung, dass die Kennlinien realer Drucksensoren mehr oder weniger gekrümmt sind, wobei diese Krümmung bei jedem einzelnen Sensor etwas anders aussieht.



**Bild 5-1:** Netzwerk zur Linearisierung. Der Transistor T ist eingebaut und die Widerstände R8 - R11 werden nach Bedarf bestückt

Damit trotzdem hochgenaue Messungen möglich sind, muss diese Krümmung kompensiert werden. Bei rein analog arbeitenden Messumformern kann das durch den Einsatz von schaltenden elektronischen Bauelementen, wie z. B. Dioden oder Transistoren, erfolgen. Nach dem Ausmessen der Kennlinie eines Drucksensors wird der Punkt mit der größten Kennlinienabweichung und die Größe der Abweichung bestimmt. Dann wird eine Diode oder ein Transistor so dazugeschaltet, dass beim Erreichen dieses Punktes der Kennlinie, das Bauteil einen kleinen zusätzlichen Strom schaltet, damit die Kennlinienabweichung an diesem Punkt gleich Null wird. Die verbleibenden Abweichungen sind erheblich kleiner.

Bei Geräten mit digitaler Signalverarbeitung wird die Kennlinie üblicherweise durch ein Polynom höherer Ordnung korrigiert. Während der Fertigung eines Druck-Messumformers wird die Kennlinie aufgenommen und die Koeffizienten für das Polynom ermittelt. Sie werden im Messumformer gespeichert und für die Korrektur-Berechnung jedes einzelnen Messwertes herangezogen.

Mit dieser Korrekturart ist es auch möglich, Kennlinien mit mehr als einem Wendepunkt zu korrigieren wie sie z. B. bei Messungen im +/- -Bereich auftreten können. Außerdem ist der verbleibende Fehler erheblich geringer, weil die Korrektur mit Polynomen sanfte Krümmungen, ähnlich dem Verlauf der Kennlinienabweichung, ergibt. Voraussetzung für eine erfolgreiche Korrektur der Kennlinie ist ein kontinuierlich steigender Verlauf. Messzellen, die einen Knickpunkt oder gar „Knackfrosch“ in der Kennlinie haben, sind fehlerhaft und können nicht korrigiert werden.

Bei rein analogen Messumformern wird üblicherweise nur der Ausgangsbereich, also die eingestellte Messspanne, korrigiert. Deshalb sollte für genaue Messungen nach einer Änderung der Messspanne die Kennlinie geprüft und gegebenenfalls neu korrigiert werden. Bei digitalen Messumformern wird die Kennlinie für den kompletten Drucksensorbereich korrigiert. Bei nachträglichen Änderungen der eingestellten Messspanne bleibt daher die Kennliniengenauigkeit erhalten.

### **Kompensation des Temperatureinflusses**

Temperaturänderungen, die vom Prozess oder von der Umgebung kommen, haben einen wesentlichen Einfluss auf die Messgenauigkeit von Drucksensoren. Abmessungen und Festigkeiten von verwendeten Werkstoffen ändern sich mit der Temperatur. Ebenso ändert sich das Volumen der Füllflüssigkeit. Halbleiter-Drucksensoren verändern mit der Temperaturänderung auch ihre Eigenschaften, ebenso wie die zur Verstärkung verwendeten Bauelemente. Änderungen der Temperatur haben daher sowohl einen Einfluss auf den Nullpunkt als auch auf die Messspanne. Der Einfluss auf den Nullpunkt führt zu einer Parallelverschiebung der Kennlinie, während der Einfluss auf die Messspanne eine Änderung der Steigung der Kennlinie bewirkt.

Bei analogen Druck-Messumformern ist eine Kompensation der Temperatureinflüsse durch den Einsatz von Widerständen mit genau definierter Temperaturabhängigkeit möglich. Hierfür kommen hochgenaue Kupfer-Schichtwiderstände oder spezielle Kohle-Schichtwiderstände zum Einsatz.



Bei digitalen Messumformern werden, ebenso wie bei der Linearisierung der Kennlinie, Polynome zur Korrektur des Temperatureinflusses verwendet. Während bei rein analogen Messumformern üblicherweise nur ein linearer Temperatureinfluss kompensiert wird, werden mit Polynomen auch nichtlineare Einflüsse der Temperatur auf den Nullpunkt und auf die Messspanne kompensiert. Zur Erfassung der Temperatur ist in der Messzelle ein Temperatursensor eingebaut. Somit wird der Einfluss der Temperatur auf den Drucksensor und auf die Bauteile zur Analog-/Digital-Wandlung erfasst und schaltungstechnisch zur Kompensation verwendet.

Bei Messumformern mit analogem Ausgangssignal (4...20 mA) können Änderungen der Temperatur die Genauigkeit der Digital-/Analog-Wandlung beeinflussen. Zur Kompensation ist ein zusätzlicher Temperatursensor auf der Hauptelektronik angebracht und mit zusätzlichen Polynomen wird auch dieser Einfluss eliminiert.

### **Kompensation des statischen Druckeinflusses**

Bei Differenzdruck-Messumformern hat auch der statische Druck einen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Das Volumen der verwendeten Füllflüssigkeiten ändert sich, die Werkstoffe verformen sich und auch die Elastizität kann sich ändern.

Voraussetzung für die Kompensation der Einflüsse des statischen Drucks ist dessen Erfassung. Bei einigen symmetrisch aufgebauten Sensoren zur Messung des Differenzdrucks ist eine gleichzeitige Erfassung des statischen Drucks möglich. Bei kapazitiven Sensoren, bei denen der Differenzdruck aus der gegenläufigen Kapazitätsänderung zweier Kondensatoren erfasst wird, kann die Erfassung durch die Messung der Gesamtkapazität dieser Kondensatoren erfolgen. Ähnlich kann die Gesamtinduktivität eines induktiven Abgriffsystems für Differenzdruck zur Erfassung des statischen Drucks verwendet werden. Diese eher indirekten Erfassungen des statischen Drucks erreichen bei weitem nicht die Genauigkeit der Differenzdruckmessung. Zur Kompensation des statischen Druckeinflusses auf die Messung reicht diese Art der Erfassung jedoch aus.

Für genauere Messungen des statischen Drucks ist ein zusätzlicher Sensor erforderlich. Wenn dieser Sensor den statischen Druck als Absolutdruck erfasst, dient eine kleine Vakuumkammer als Referenz. Somit ist ein sehr kompakter Aufbau der Messzelle möglich, ohne dass ein Druckausgleich vorzusehen ist. Hierbei wird üblicherweise die Kennlinie und der Temperatureinfluss, ebenfalls wie oben beschrieben, korrigiert. Somit kann der Messwert zur Messung des statischen Drucks nicht nur zur Kompensation der Differenzdruckmessung verwendet werden, er kann auch als zusätzlicher Prozesswert ausgegeben werden. Dies erfolgt bei Geräten mit HART-Kommunikation z. B. mit Kommando #3, während bei Feldbus-Geräten der Wert einfach als zusätzlicher Analogwert mit einem zweiten AI-Block ausgegeben wird.

## **Fertigungstechnische Ausführung der Kompensation**

Damit die beschriebenen Kompensationen auch fertigungstechnisch durchgeführt werden können, ist es erforderlich, dass jede einzelne Messzelle hinsichtlich der genannten Einflüsse ausgemessen wird. Dies geschieht üblicherweise schrittweise bei unterschiedlichen Temperaturen in Klimakammern.

Es wird eine Kennlinie aufgenommen, indem man stufenweise über den gesamten Bereich des Drucksensors Druckwerte vorgibt. Die zugehörigen Ausgangswerte werden aufgezeichnet und die Abweichung wird festgestellt. Bei Differenzdruck-Messumformern erfolgt diese Prozedur bei unterschiedlichen Werten des statischen Drucks, damit auch dieser Einfluss erfasst wird. Aus allen erfassten Abweichungen werden dann die Koeffizienten ermittelt, nach denen später im aktuellen Messbetrieb die Einflüsse korrigiert werden. Bei Geräten mit analogem Ausgang, bei denen auch ein Wechsel der Elektronik möglich ist, muss der Temperatureinfluss auf den Digital-/Analog-Wandler separat erfasst und korrigiert werden. All diese Koeffizienten sind jeweils einer individuellen Messzelle bzw. einer individuellen Elektronik zugeordnet und auch nur für den Hersteller zugänglich.

### **5.2.2 Kalibrierung und Einstellung**

Nach Kompensation der Prozess- und Umgebungseinflüsse muss der Druck-Messumformer noch kalibriert und auf die vom Anwender gewünschten Werte für Messanfang und Messende eingestellt werden.

#### **Kalibrierung**

Bei der Kalibrierung werden die Ausgangswerte der Messzelle mit Eichnormalen als Referenz verglichen und angepasst. Dieser Vorgang ist eine Grundvoraussetzung, damit der Anwender später die Werte für Messanfang und Messende auf andere Werte stellen kann, ohne die Druckwerte für Messanfang und Messende vorgeben zu müssen.

Zur Kalibrierung werden die physikalischen Druckwerte für Messanfang und Messende vorgegeben und dem Messumformer die dazuhörenden Zahlenwerte übertragen. Diese werden gespeichert und dem jeweiligen physikalischen Druckwert zugeordnet. Die Werte werden im Messumformer zum einem als aktuelle Kalibrierwerte und zusätzlich als Werkseinstellung gespeichert. So besteht die Möglichkeit, spätere abweichende Kalibrierungen wieder auf die Werkseinstellung zurücksetzen zu können.

Idealerweise wird die Kalibrierung gleich mit den Werten durchgeführt, die der Anwender bei einer Bestellung angibt. So kann für den vorgesehenen Einsatz des Druck-Messumformers die größtmögliche Messgenauigkeit erreicht werden. Die Eichnormale für die Kalibrierung müssen natürlich eine wesentlich höhere Genauigkeit aufweisen als sie für den Druck-Messumformer vorgesehen ist. Daher ist es erforderlich, dass sie in festgelegten regelmäßigen Abständen mit gesetzlichen Eichnormalen verglichen werden.

Im Gegensatz zur Kompensation der Messzelle hat der Anwender grundsätzlich die Möglichkeit, einen Druck-Messumformer neu zu kalibrieren. Dabei ist es erforderlich, dass Druckwerte für Messanfang und Messende vorgegeben und zum Messumformer übertragen werden. Der Messumformer vergleicht diese Werte mit der vorhandenen Kalibrierung. Um grundsätzliche Fehler auszuschließen, ist eine Änderung der Kalibrierung oft nur in einem eingeschränkten Bereich, hinsichtlich Steigung und Parallelverschiebung der Kennlinie, möglich.

Da an die Referenzwerte des Drucks hohe Genauigkeitsanforderungen gestellt werden, ist diese Neukalibrierung nur in sehr wenigen Ausnahmefällen sinnvoll. Für den Anwender ist es sehr viel einfacher, die Einflüsse, die durch veränderte Einbaulage, abweichende Temperatur, Einfluss des statischen Drucks oder Alterung entstehen, durch Korrektur des Nullpunktes, wie sie üblicherweise als Schief lagenkorrektur, Offset oder Bias angeboten wird, durchzuführen. In dieser Weise erfolgt eine Parallelverschiebung der Kennlinie, mit der die jeweiligen Einflüsse korrigiert werden, ohne dass die Kalibrierung geändert werden muss.

Ebenso wie eine Messzelle kalibriert wird, ist bei analogen Messumformern eine Kalibrierung des Digital-/Analog-Wandlers erforderlich. Sie wird in ähnlicher Weise mit den Werten 4 mA und 20 mA durchgeführt. Bei Differenzdruck-Messumformern mit zusätzlichem Ausgang für den statischen Druck, muss die Messung des statischen Drucks ebenfalls kalibriert werden.

### **Messbereichseinstellung**

Die Einstellung des Druck-Messumformers auf die gewünschten Werte für Messanfang und Messende wird während der Herstellung gleich mit der Kalibrierung durchgeführt. Bei analogen Geräten ist dem Messanfang üblicherweise der Wert 4 mA zugeordnet während das Messende 20 mA entspricht. Zusätzlich kann diesen Werten auch eine freie Variable zugeordnet werden, die dann auf Werte wie 0 %...100 % oder z. B. für Füllstandmessungen auf 0,3 m bis 3,75 m referenziert. Diese freie Variable kann über einen Anzeiger dargestellt oder auch via HART-Kommunikation digital übertragen werden.

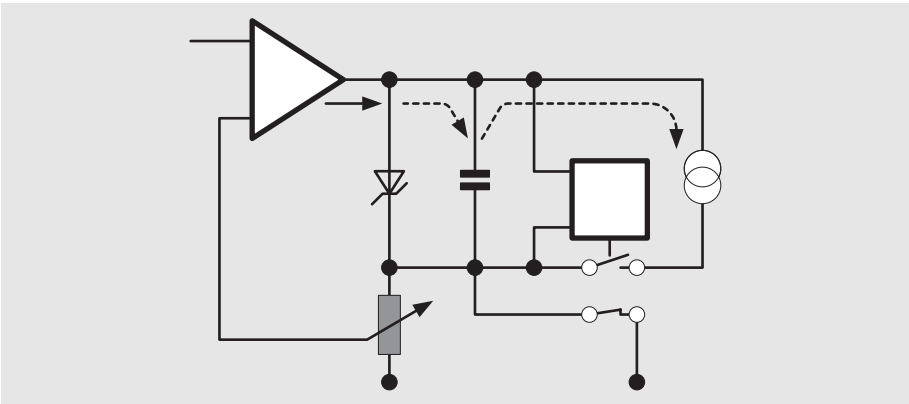
Bei Feldbusgeräten wird der Messwert immer als digitales Signal übertragen. Üblicherweise spricht man aber auch hier von einem Analogausgang. Der entsprechende Parameter kann dabei auch auf einen Bereich von 0 %...100 % oder in physikalische Einheiten eingestellt werden.

### 5.2.3 Rechenfunktionen

Zur Anpassung an eine gewünschte Messaufgabe können in einem Druck-Messumformer zusätzliche Rechenfunktionen hinterlegt sein. Diese können während der Herstellung oder auch später vom Anwender entsprechend angepasst werden.

#### Durchflussmessung mit Radizierung

Eine sehr verbreitete Anwendung von Differenzdruck-Messumformern ist die Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren. Wenn die Strömung von Flüssigkeiten, Gasen oder Dampf mit einem geeigneten Wirkdruckgeber wie Venturi-Rohr, Blende, oder Düse erfasst wird, entsteht ein Differenzdruck. Die Größe dieses Differenzdrucks steigt quadratisch mit der Strömungsgeschwindigkeit. Durch Radizierung erhält man ein Signal, das sich proportional zum Durchfluss verhält.



**Bild 5-2:** Radiziernetzwerk

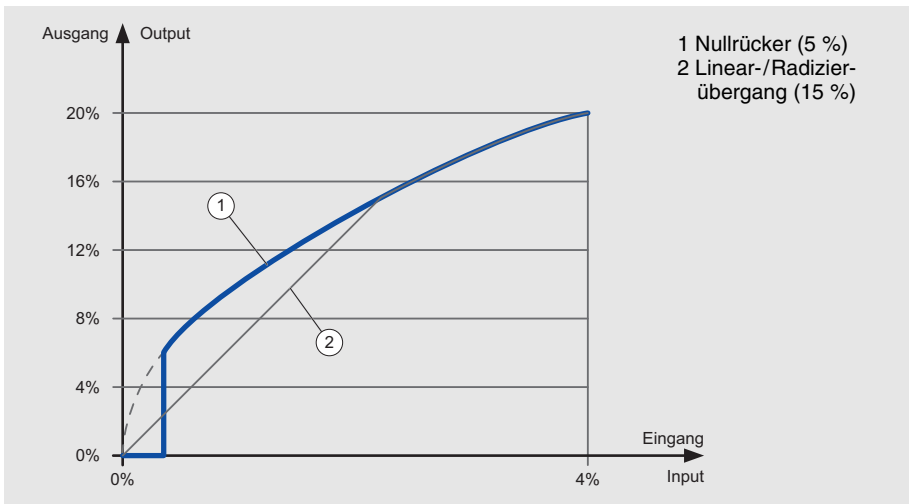
Bei anlogen Geräten kann eine radizierte Kennlinie, z. B. nach dem Time Division-Verfahren, erzeugt werden. Hierzu wird z. B. eine analoge Spannung mit Rechtecksignal überlagert, dessen Taktverhältnis proportional zur Spannung ist. Durch Mittelwertbildung erhält man eine Ausgangsspannung die sich quadratisch mit der Eingangsspannung ändert. Indem diese Spannung zur Gegenkopplung verwendet wird, erhält man eine radizierte Kennlinie.

Analoge Messumformer mit radizierter Kennlinie benötigen zusätzliche Bauteile, im Gegensatz zu Geräten mit linearer Kennlinie. Das kann zu einem höheren Beschaffungspreis führen. Bei digitalen Druck-Messumformern erfolgt die Radizierung durch eine einfache Berechnung und kann jederzeit bei Bedarf aktiviert oder deaktiviert werden.

Die Steigung einer radizierten Kennlinie wird jedoch umso größer, je mehr sie sich dem Nullpunkt nähert. Beim Wert Null selbst ist die Steigung theoretisch unendlich. Dieses führt einerseits leicht zu Instabilitäten, andererseits werden kleinste Störeinflüsse auf

den Nullpunkt sehr hoch verstärkt. Das kann dazu führen, dass sich bei Messungen zu Abrechnungszwecken über längere Zeiträume Werte aufsummieren können, obwohl z. B. gar kein Durchfluss vorhanden ist. Abhilfe schafft die sogenannte Schleichmengenunterdrückung mit Nullrücken und/oder ein Linear-/Radizier-Übergang.

Mit dem Nullrücken wird der Ausgang unterhalb eines Schwellwerts zur Schleichmengenunterdrückung auf Null gesetzt. Summierungen, ohne dass Durchfluss vorhanden ist, werden so unterdrückt. Der Nullrücken sollte auf einen Wert eingestellt werden, der oberhalb der Einflüsse von Kennlinienabweichung und Temperatureinfluss liegt, jedoch deutlich kleiner ist, als der kleinste auftretende Durchfluss.



**Bild 5-3:** Einfluss des Nullrückers und des Linear-/Radizierübergangs auf eine radizierende Kennlinie

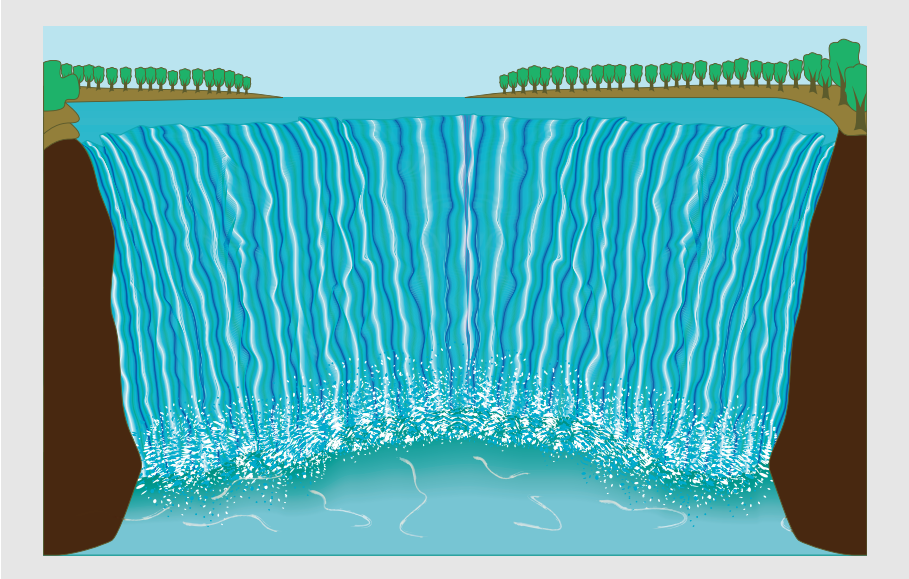
Für die Regelung kleinster Durchflüsse ist der Nullrücken weniger geeignet, weil beim Überschreiten des Schwellwertes gleichzeitig auch ein Sprung des Ausgangssignals erfolgt. In diesem Fall ist es besser, den Linear-/Radizier-Übergang zu verwenden. Dabei wird die radizierende Kennlinie unterhalb des eingestellten Wertes durch eine lineare Kennlinie ersetzt. Ein Sprung im Ausgangssignal bleibt somit aus. Die Verstärkung bleibt begrenzt, so dass die Neigung zu Schwingungen in Regelkreisen erheblich reduziert ist.

Für Wirkdruckaufnehmer, bei denen die Abweichung der idealen quadratischen Kennlinie bekannt ist, kann bei einigen Druck-Messumformern eine zusätzliche Linearisierung durchgeführt werden. Dies geschieht z. B. durch die Eingabe von Wertepaaren zur Korrektur des Differenzdrucks im Bereich 0...100 %.

## Andere Durchflussmessungen

Neben den gängigen Wirkdruckaufnehmern mit quadratischer Kennlinie, kann ein Differenzdruck zur Durchflussmessung auch auf andere Art erzeugt werden. Eine Möglichkeit besteht z. B. in der Differenzdruckmessung an der Außenseite und Innenseite einer gekrümmten Rohrleitung. Da die Strömung umgelenkt wird, entsteht auch hier ein Differenzdruck, der mit steigender Strömungsgeschwindigkeit zunimmt.

Die notwendige Korrektur für diese Art der Durchflussmessung hängt von den Abmessungen des Rohres und der Strömungsgeschwindigkeit ab. Üblicherweise liegt sie im Bereich von  $dP^{0,45}$  bis  $dP^{0,55}$ . Zur Korrektur kann daher die Abweichung von der Radizierfunktion zusätzlich korrigiert werden.



**Bild 5-4:** Möglichkeit der Durchflussmessung an unregelmäßig geformten Überläufen durch Eingabe von Wertepaaren

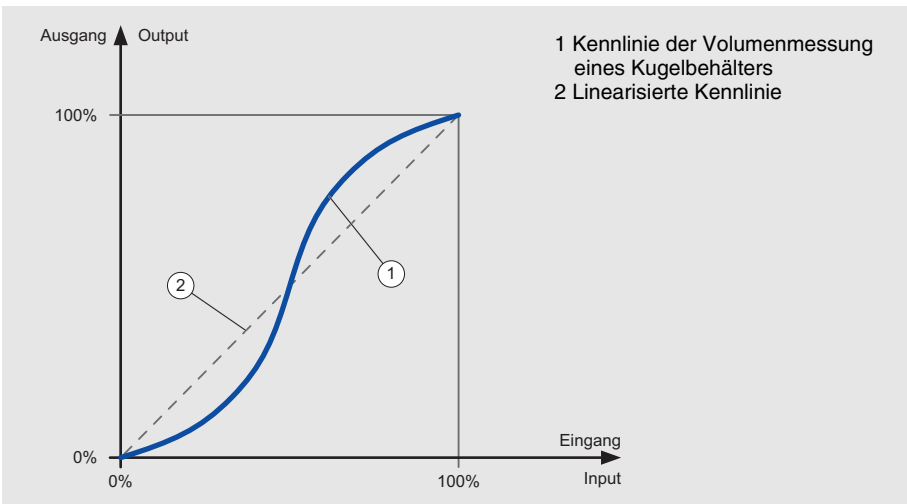
Bei Strömungen in offenen Kanälen werden Überfallwehre mit unterschiedlichen Querschnitten (rechteckig, trapezförmig, etc.) oder auch offene Venturi-Kanäle eingesetzt. Hier können Funktionen wie  $H^{3/2}$  oder  $H^{5/2}$  zur Korrektur verwendet werden.

Weitere Korrekturen für nicht genormte Überläufe, Kanäle oder Rinnen werden üblicherweise mit der direkten Eingabe von Wertepaaren durchgeführt. Hierdurch kann die Berechnung des Durchflusses auch bei unregelmäßig geformten, natürlich entstandenen Überläufen von einer Druckmessung abgeleitet werden.

## Messung der Füllmenge in Behältern

Der hydrostatische Druck einer Flüssigkeit ist direkt proportional zu ihrer Höhe. Deshalb ist zur Messung der Füllhöhe in einem Behälter keine zusätzliche Kennlinie notwendig. Etwas anders sieht es mit der Füllmenge aus, weil diese von der Form des Behälters abhängig ist. Übliche Behälterformen sind stehende Zylinder, liegende Zylinder und kugelförmige Behälter. Im stehenden Zylinder ist das Volumen, zumindest im zylindrischen Teil, proportional zur Füllhöhe. Wenn der Einfluss eines gewölbten Bodens berücksichtigt werden muss, ist es üblich, die entsprechende Kennlinie über die Eingabe von Wertepaaren nachzubilden.

Zur Volumenmessung im liegenden Zylinder ist eine Korrekturkurve erforderlich, die anfangs flach verläuft, in der Mitte steiler wird um danach wieder flacher zu werden. Die notwendige Korrektur kann bei manchen Druck-Messumformern direkt eingestellt werden. Ein zusätzlicher Einfluss von gewölbten Böden kann in der Regel vernachlässigt werden, weil die Kennlinienänderung minimal ist. Bei Behältern, deren Länge erheblich kürzer ist als der Durchmesser, sollte die Korrekturkennlinie berechnet und individuell eingestellt werden.



**Bild 5-5:** Kennlinie eines Kugelbehälters

Das Volumen in Kugelbehältern errechnet sich nach der Formel:  
 $v = 1/3 \pi * h^2 (3r - h)$ .

Diese ist ebenfalls bei hochwertigen Geräten direkt einstellbar.

Andere Behälterformen erfordern eine individuelle Berechnung des Volumens und damit der notwendigen Kennlinie zur Korrektur. Diese wird dann individuell als Korrekturkurve, ähnlich wie die der Durchflussmessung, an nicht genormten Überläufen, in

den Druck-Messumformer eingegeben. Die Füllmenge, angezeigt als Masse, ist bei konstanter Dichte des Inhaltes proportional zum Volumen und benötigt damit zur Berechnung lediglich einen konstanten Faktor.

## **Dämpfung**

Die Dämpfung des Messwertes kann dann sinnvoll sein, wenn prozessbedingt ein unruhiges Signal vorliegt. Ursache können Wirbelbildungen, Pumpvorgänge oder auch Schwingungen, die nicht direkt aus dem Prozess kommen, sein. Derartige Schwingungen haben den Effekt, dass die Anzeige digitaler Messgeräte laufend „springt“ oder ein Schreiber statt einer Linie ein „zerfranstes“ Band darstellt. Durch die Dämpfung des Messwertes kann eine Digitalanzeige stabilisiert und die Linienregistrierung klarer und eindeutiger werden. Nachteilig ist dabei eine geringere zeitliche Auflösung des Messsignals.

Während bei Barton-Messzellen noch Ausführungen mit mechanischer Dämpfung möglich waren, wird heute praktisch nur noch die elektronische Dämpfung eingesetzt. Bei analogen Messumformern wird dazu ein Kondensator verwendet. Dabei folgt nach einem Sprung des Eingangssignals das Ausgangssignal nach einer e-Funktion. Das bedeutet, dass der Ausgang bei einer Zeitkonstante von z. B. 3 s nach dieser Zeit etwa 65 % des Endwertes erreicht hat.

Bei digitalen Messumformern wird das Ausgangssignal nach der e-Funktion berechnet. Die Zeitkonstante ist in der Regel zwischen 0 und 60 s einstellbar. So sind auch bei sehr „unruhigen“ Druckwerten stabile Ausgangsgrößen möglich, die je nach Einstellung allerdings auch sehr langsam reagieren.

## **Erkennung verstopfter Wirkdruckleitungen**

Die digitale Messwertaufbereitung bei Druck-Messumformern bietet grundsätzlich auch die Möglichkeit, durch eine mathematische Auswertung Aussagen über die Prozessbedingungen zu machen. Da auf der einen Seite jeder Prozess unterschiedlich ist, auf der anderen Seite die Rechenkapazität in den Messgeräten begrenzt ist, sind Auswertungen allerdings nicht in jeder beliebigen Form möglich. Für praktische Anwendungen ist die Erkennung verstopfter Wirkdruckleitungen ein gutes Beispiel.

Bei bestimmten Prozessen besteht die Möglichkeit, dass durch Ablagerungen, Kristallisation, Polymerisation, etc. Wirkdruckleitungen verstopfen können. In diesem Fall ist eine aufwändige und regelmäßige Prüfung und auch Reinigung der Leitungen notwendig. Besonders bei unregelmäßig vorkommenden Verstopfungen ist eine selbstmeldende Hilfe durch das Messgerät erwünscht.

Dafür gibt es unterschiedliche Verfahren. Zum Beispiel ist es möglich, über mehrere Messwerte den Mittelwert und die Standardabweichung zu berechnen. Sobald eine Leitung verstopft ist, ändern sich diese Werte. Sie können z. B. größer werden, weil der Einfluss des statischen Druck beim Verstopfen einer Leitung stärker eingeht, oder kleiner werden, weil die Druckschwankungen insgesamt gedämpft werden. Beides kann



als Indikator dafür dienen, dass eine Störung in den Leitungen vorliegt. Ähnlich wie ein Fachmann erkennt, ob eine Maschine zu laut oder zu leise läuft, erkennt der Messumformer, dass „Geräusche“ aus dem Prozess zu laut oder zu leise sind.

Ein weiteres Verfahren ist die Fourier-Analyse. Hierbei werden die zeitlichen Änderungen des gemessenen Drucks in einzelne Frequenzanteile zerlegt, die dann getrennt ausgewertet werden. Für jede Frequenz werden minimale und maximale Amplituden erfasst. So können verstopfte Wirkdruckleitungen auch dann erkannt werden, wenn aufgrund der Prozessbedingungen die Auswirkung nicht pauschal auftritt. Im Vergleich mit dem zuvor genannten Beispiel erkennt der Fachmann jetzt auch, wenn ein Frequenzanteil gedämpft ist (z. B. Auspuff nicht mehr ganz frei) oder wenn Frequenzen auftreten, die nicht da sein sollten (Ventil klappert).

### **Zusätzliche Rechenfunktionen**

Als zusätzliche Rechenfunktionen können in einem Druck-Messumformer auch Zähler oder Regler integriert werden. Zähler werden in Kombination mit der Durchflussmessung genutzt, um die geflossene Menge in bestimmten Zeiträumen zu bestimmen. Das ist notwendig bei Abrechnungsanwendungen oder auch zur Steuerung von Batch-Prozessen. Da die Auflösung eines analogen Ausgangssignals für diese Zwecke zu gering ist, steht der Wert eines Zählers nur als digitales Signal auf dem Anzeiger oder über digitale Kommunikation zur Verfügung.

Regler können insbesondere bei Druck-Messumformern im Feldbussystem vorteilhaft sein. Mit der Kommunikation über Feldbus stehen mehrere Kanäle zur Verfügung. So können neben dem Messwert z. B. auch der Sollwert und der Ausgangswert des Reglers übertragen werden. Üblicherweise kommen hier PID-Regler zum Einsatz. Die Möglichkeiten von multivariablen Druck-Messumformern, die z. B. eine druck- und temperaturkompensierte Durchflussberechnung gestatten, wurde bereits zuvor beschrieben.

## **5.2.4 Ausgangssignal**

Damit der Messwert eines Druck-Messumformers auch anderen Geräten zur Verfügung steht, muss er in einer Form, die von anderen Geräten ausgewertet werden kann, zu Verfügung gestellt werden. Dieses kann in analoger oder digitaler Form geschehen.

### **Analoger Ausgang**

Ein analoger Ausgang ist als pneumatisches Signal oder als elektrisches Spannungs- oder Stromsignal möglich. Pneumatische Druck-Messumformer haben an Bedeutung verloren. Wird dennoch ein pneumatisches Signal benötigt, kann das durch den Einsatz eines I/P-Wandlers erfolgen, der einen Strom von 4...20 mA in einen Druck von z. B. 0,2...1 bar umwandelt.

Elektrische Spannungen als Ausgangssignal kommen nur noch vereinzelt vor. Sehr üblich ist das analoge Ausgangssignal als eingepprägter Strom im Bereich 4...20 mA.

Hierbei wird in Zweileitertechnik der Grundstrom von 4 mA zur Versorgung der Elektronik verwendet. Die restlichen 16 mA werden zur Abbildung des Messwertes in den eingestellten Messbereichsgrenzen benötigt.

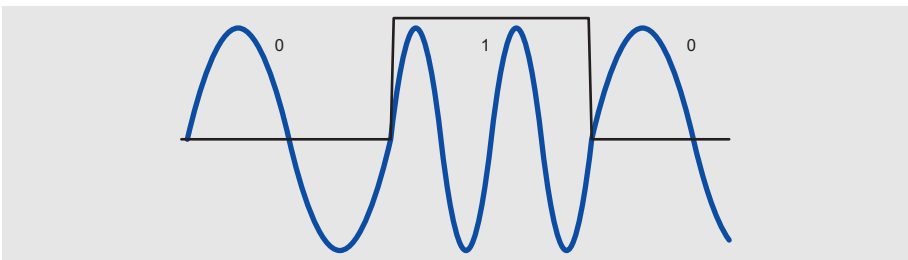
Stromwerte außerhalb 4...20 mA können zur Meldung von Störungen verwendet werden, wie es z. B. in der Namur-Richtlinie NE 43 „Vereinheitlichung des Signalpegels für die Ausfallinformation von digitalen Messumformern mit analogem Ausgangssignal“ beschrieben ist. Gegenüber dem Spannungssignal ist der eingeprägte Strom außerdem unempfindlicher gegenüber Störeinflüssen. Thermoelektrische Spannungen die bei Verbindungen unterschiedlicher Werkstoffe (Leitung/Klemmen) entstehen können, beeinflussen einen eingeprägten Strom nicht.

Im Vergleich zu einem digitalen Signal hat ein analoges Strom-Ausgangssignal nach wie vor den Vorteil, dass es mit einfachen Mittel kontrolliert werden kann und generell äußerst unempfindlich gegenüber Störungen ist.

### HART-Kommunikation

Das HART (Highway Addressable Remote Transducer)-Protokoll wurde ungefähr 1980 von der Fa. Emerson entwickelt und ist 1989 durch die Gründung der HART Communication Foundation (HCF) zu einem herstellerübergreifenden Standard geworden.

Die Kommunikation erfolgt durch Wechselspannung nach dem Bell 202-Standard, die das 4...20 mA-Signal überlagert. Hierdurch können HART-Geräte in vorhandenen Anlagen rein analoge Geräte ersetzen, ohne das neue Leitungen gelegt oder die Eingangskarten von Systemen ersetzt werden müssen.



**Bild 5-6:** HART-Signal für die digitalen Signalzustände 0 und 1

Die digitale „1“ wird mit einer Frequenz von 1,2 kHz dargestellt, während die „0“ einer Frequenz von 2,2 kHz entspricht. Die Signalamplitude ist etwa  $\pm 0,5$  mA. Damit die HART-Kommunikation funktioniert, darf diese Wechselspannung nicht kurzgeschlossen werden. Aktuelle Speisegeräte für Messumformer sind dementsprechend für HART-Kommunikation ausgelegt. Allerdings kann die HART-Kommunikation durch Wechselspannungen aus anderen Quellen gestört werden. Als Störungsursache kommen z. B. Drehstromnetzteile ohne Siebung, Thyristorsteuerungen, Elektroschweißgeräte, Schaltgeräte in Frage. HART ist als Feldbus-Standard in der IEC 61158 enthalten.

## **FOUNDATION™ fieldbus**

1994 wurde in den USA durch Zusammenschluss der „WorldFIP North America“ und „Interoperable Systems Project (ISP)“ die Fieldbus Foundation™ mit dem Ziel gegründet, herstellerübergreifende, einheitliche Standards für Feldbussysteme zu erstellen. In dieser Organisation haben sich weltweit ca. 500 Firmen zusammengeschlossen.

Die Übertragung von Informationen erfolgt beim FOUNDATION fieldbus digital mit einer Übertragungsrate von 31,25 kB. Die Energieversorgung der Messumformer und die digitale Kommunikation findet dabei, ähnlich wie bei der HART-Kommunikation, über die gleichen Leitungen statt. Im Gegensatz zu HART-Geräten wird der Messwert jedoch nicht mehr als zusätzlicher Stromwert ausgegeben.

Der Bus wird als abgeschirmte Zweidrahtleitung ausgeführt. Die Verbindung erfolgt von Gerät zu Gerät. Die maximale Anzahl der Geräte an einer Leitung (Trunk) ist begrenzt. An einer Leitung ist auch nur eine beschränkte Stickleitungslänge zulässig. Der Wellenwiderstand der verwendeten Leitungen soll 100 Ohm betragen. Um Reflexionen zu vermeiden, müssen die Leitungsenden jeweils mit einem Abschlusswiderstand (Terminator) versehen werden.

Der Grundstrom eines Gerätes beträgt mindestens 10 mA. Zur Kommunikation wird dieser Strom vom sendenden Gerät einem Rechteckstrom von 9 mA<sub>ss</sub> überlagert. Bei einem Wellenwiderstand von zwei mal 100 Ohm parallel, ergibt sich damit eine Spannung von etwa 0,5 V<sub>ss</sub> zur Signalübertragung.

Die Funktion eines Messumformers wird in sogenannten Blöcken beschrieben. Der Resource Block (RB) beschreibt z. B. den Aufbau des Gerätes. Der Transducer Block (TB) wird zur Beschreibung der Parameter des Messsystems verwendet. Für die Darstellung des Ausgangssignals wird in der Regel ein Analog-Input Block (AI) verwendet.

Durch einen AI-Block wird der Messwert als Gleitkommazahl gemäß IEEE-754 mit 4 Byte ausgegeben. Mit einem zusätzlichen Byte werden Statusinformationen über die Qualität des Messwertes ausgegeben. Damit die Messwerte übertragen werden, ist es erforderlich das ein LAS (Link Active Scheduler) Anfragen an die einzelnen Feldgeräte schickt. Die Antwort der Geräte kann dabei von allen anderen Geräten an einer Leitung ausgewertet werden. Die LAS-Funktion kann auch von einem Feldgerät wie z. B. einem Druck-Messumformer übernommen werden. D. h., in kleineren Anlagen können mit dem FOUNDATION fieldbus Geräte betrieben werden, ohne das eine Leitsystem oder eine Steuerung notwendig ist.

Neben der Übertragung der Messwerte wird der Bus auch zur Parametrierung der Feldgeräte, zur Übertragung zusätzlicher Werte und zur erweiterten Diagnose- und Statusmeldung verwendet.

Zu jedem FOUNDATION fieldbus-Gerät gehört eine CFF-Datei (Common File Format File) und eine DD-Datei (Device Description). Diese Dateien ermöglichen es mit einem Leitsystem, einer SPS oder einem Konfigurator den Bus zu konfigurieren und die Geräte zu parametrieren. Durch diese Dateien ist eine herstellerübergreifende, maschinenlesbare Beschreibung der Feldgeräte sichergestellt.

## **PROFIBUS**

Die Anfänge des PROFIBUS gehen auf ein 1987 gestartetes öffentliches Verbundvorhaben, mit dem Ziel einen seriellen Feldbus zu entwickeln, zurück. Grundvoraussetzung sollte eine genormte Schnittstelle sein. Seit 1989 haben sich Hersteller in der PNO (PROFIBUS Nutzer-Organisation) zusammengeschlossen.

PROFIBUS bietet mehrere Protokollvarianten. Der PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification) für komplexe Anlagen wurde inzwischen vom PROFIBUS DP (Dezentrale Peripherie) abgelöst. PROFIBUS DP mit den Erweiterungen V0, V1 und V2 ist derzeit die Grundlage der PROFIBUS-Kommunikation. Die Übertragungsraten liegen im Bereich von 9,6 kB bis 12 MB. Die maximale Leitungslänge liegt bei 1,2 km und nimmt ab 93,75 kB mit steigender Übertragungsrate ab. Ab 3 MB beträgt die maximale Leitungslänge nur noch 100 m.

Für den Betrieb einfacher Feldgeräte wie Druck-Messumformer wird die Protokollvariante PROFIBUS PA verwendet. Hier werden die gleichen physikalischen Grundlagen wie bei FOUNDATION fieldbus bei gleicher Übertragungsrate genutzt. Zur Ankopplung an PROFIBUS DP werden Segmentkoppler verwendet, die gleichzeitig die Energieversorgung für die Feldgeräte übernehmen.

Da gleiche physikalische Grundlagen verwendet werden, gelten hinsichtlich der Verbindungen, Leitungen, Busabschlüsse ähnliche Bedingungen wie bei FOUNDATION fieldbus. Die Beschreibung der Feldgeräte erfolgt auch hier mit Blöcken. Der Physical Block beschreibt das Gerät, ein Transducer Block das Messsystem und als Ausgang wird ebenfalls ein AI-Block verwendet.

Im Gegensatz zu FOUNDATION fieldbus benötigt PROFIBUS allerdings einen Master über den sämtliche Messwerte übertragen werden. Hier werden dann Master Klasse 1 zur zyklischen Übertragung der Messwerte und Master Klasse 2 zur azyklischen Übertragung weiterer Parameter unterschieden. Ein Leitsystem kann üblicherweise beide Master-Funktionen gleichzeitig ausführen.

Zu jedem PROFIBUS-Gerät gehört eine GSD (Geräte Stammdaten Datei), mit der Beschreibung der Parameter für den zyklischen Datenverkehr, der Beschreibung der Statusbits, etc.. Diese Datei wird in das Leitsystem oder eine SPS eingelesen. Mit den Angaben in dieser Datei ist eine einfache Konfiguration der zyklischen Kommunikation zur Übertragung der Messwerte möglich.

## **Modbus**

Das Modbus-Protokoll wurde 1979 für die Kommunikation mit der speicherprogrammierbaren Steuerung von Gould-Modicon auf den Markt gebracht. Die Kommunikation erfolgt registerorientiert. Eine herstellerübergreifende, systematische Aufteilung von Feldgeräten in Blöcken wie bei FOUNDATION fieldbus und PROFIBUS existiert nicht. Die Programmierung der SPS, an die diese Geräte angeschlossen sind, muss daher aufgrund der Registerlisten des Herstellers des Feldgerätes als sehr aufwändig bezeichnet werden.

Feldgeräte für Modbus werden derzeit noch bei kleineren, autarken Stationen eingesetzt. Ein Modbus-Master fragt z. B. die Messwerte einer Durchflussmessung ab und speichert sie. In regelmäßigen Abständen werden die aufsummierten Messwerte dann zu Abrechnungszwecken abgerufen.

## **Drahtlose Kommunikation**

Seit einiger Zeit gibt es auch Feldgeräte mit drahtloser Kommunikation. Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Der Grundgedanke von WirelessHART besteht z. B. darin, Feldgeräte nach wie vor über zwei Leitungen mit Strom zu versorgen, während die Kommunikation drahtlos mit hoher Geschwindigkeit über Funk erfolgt. Das Ausgangssignal steht als 4...20 mA-Wert zur Verfügung. Die Energieversorgung für die Funkverbindung wird beim Feldgerät abgezweigt.

Mit diesem Konzept kann eine vorhandene Anlage nachträglich leicht um die Funktion digitale Kommunikation erweitert werden. Speisegeräte und Leitungen können unverändert weiter genutzt werden. Störspannungen haben nur geringen Einfluss, da der gewählte Frequenzbereich und das Frequenzsprungverfahren eine hohe Störsicherheit bieten.

Eine andere Möglichkeit der drahtlosen Kommunikation besteht darin, eine Anlage ganz ohne Leitungen aufzubauen. Die Messumformer werden lediglich an der Messstelle montiert. Die Konfiguration der Anlage im Leitsystem kann dann z. B. über das Messstellenkennzeichen mehr oder weniger automatisch erfolgen.

Die praktische Umsetzung ist derzeit noch mit einigen Hindernissen verbunden. Damit die Messumformer arbeiten können, benötigen sie Energie. Zusätzlich wird Energie für die Funkverbindung benötigt. Die beste Energieversorgung ist für diesen Anwendungsfall nach aktuellem Stand der Technik eine Lithium-Batterie. Je nachdem, wie oft Messwerte übertragen werden müssen, reicht diese Energie von einigen Wochen bis zu wenigen Jahren. Für den praktischen Einsatz ist daher die Kabelverbindung auf Dauer gesehen günstiger, als der Aufwand durch einen regelmäßigen Batteriewechsel.

Allerdings gibt es bereits Versuche, die benötigte Energie aus der Umgebung zu gewinnen. Angefangen mit der Solarzelle, Nutzung von Temperaturgradienten mit dem Seebeck-Effekt oder die Energiegewinnung aus Schwingungen, wie sie an vielen Messstellen auftreten. Mit „Energy Harvesting“, wie diese Technologie genannt wird, werden immer neue Möglichkeiten getestet, Messumformer und andere Geräte, die nur wenig Energie benötigen, direkt aus der Umwelt mit Energie zu versorgen.

Obwohl es heute noch keine universelle Möglichkeit gibt jede Messstelle mit Energie aus der Umgebung zu versorgen, können doch einige Messstellen bereits in dieser Weise betrieben werden. Da Messumformer selbst relativ wenig Energie benötigen, besteht durchaus die Möglichkeit, dass durch die Weiterentwicklung von Primärelementen oder weitere Fortschritte beim Einsammeln von Energie, der autonome Betrieb drahtloser Messumformer an jeder Messstelle wirtschaftlich sinnvoll wird.

### **Zukünftige Protokolle**

Die schnelle Übertragung größerer Datenmengen erfolgt sowohl bei FOUNDATION fieldbus als auch bei PROFIBUS via Ethernet. Dies ist wohl mit ein Grund für Überlegungen, dass Feldgeräte auch direkt an Ethernet angeschlossen werden könnten. Andere Überlegungen gehen dahin, mit XML statt HART oder Feldbus-Protokollen zu arbeiten.

Hinsichtlich der Druck-Messumformer würde sich dabei nicht viel ändern. Die Komponenten Messzelle, Signalaufbereitung, etc. werden weiterhin benötigt. Lediglich der Kommunikationsteil bzw. die Art der Energieversorgung müsste angepasst werden.

## 5.3 Einstellung des Messumformers

Damit der Messumformer später in der Anlage auch das macht, was die Anwendung erfordert, muss er entsprechend eingestellt werden. Das kann bereits im Herstellerwerk erfolgen. Bei Geräten, die zur Ersatzteilhaltung vorgesehen sind oder wenn während der Inbetriebnahme noch Daten geändert werden müssen, benötigt der Service oder der Anwender eine Möglichkeit, den Messumformer vor Ort an die Messaufgabe anzupassen.

### 5.3.1 Einstellung im Herstellerwerk

Die Einstellung des Messumformers während der Herstellung ist für den Endanwender die komfortabelste Möglichkeit, ein Gerät zu installieren, das den Anforderungen der Messstelle vor Ort entspricht. Voraussetzung hierzu ist allerdings, dass die dazu erforderlichen Daten und Angaben schon bei der Bestellung bekannt gemacht werden.

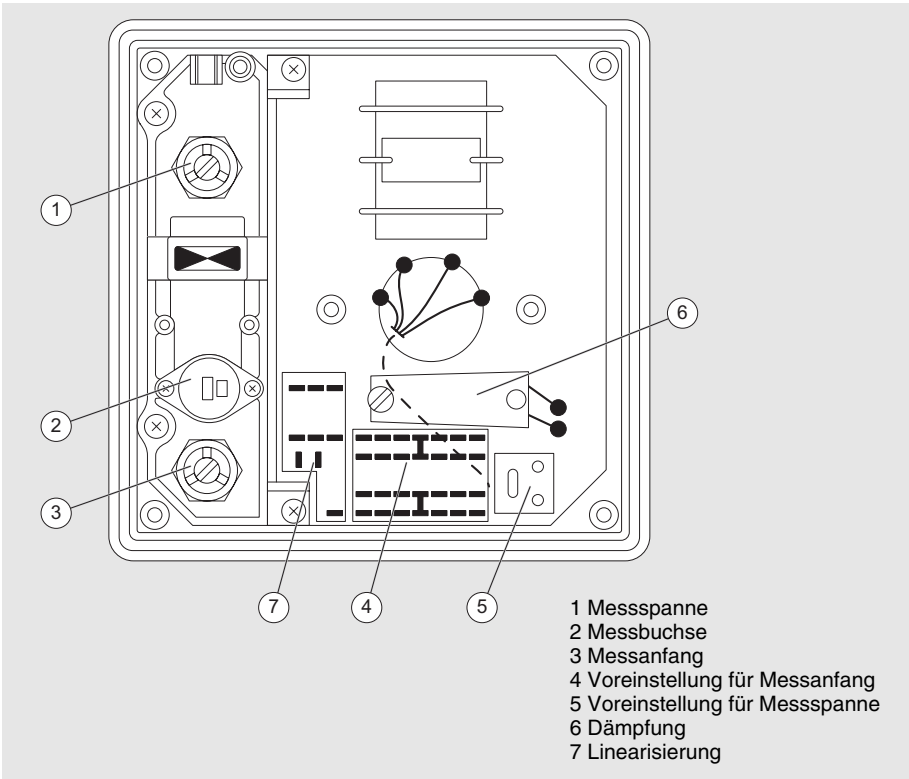
Es handelt sich dabei um folgende Parameter:

- Messbereichsanfang und Messbereichsende entsprechen bei HART-Geräten den Werten 4 mA und 20 mA. Sowohl bei HART-Geräten, als auch bei Feldbusgeräten wird auch die Kalibrierung mit diesen Werten durchgeführt.
- Eine zusätzliche Dämpfung kann bei unruhigen Druckwerten sinnvoll sein. Sie richtet sich dabei nach den Prozessbedingungen.
- Die Messstellenkennzeichnung identifiziert bei HART- und FOUNDATION fieldbus-Geräten das Feldgerät. Bei PROFIBUS kann es auch hilfreich sein.
- Die PROFIBUS-Adresse ist bei diesen Geräten als eindeutiges Kennzeichen für die Kommunikation notwendig.
- Weitere Parameter, insbesondere bei multivariablen Druck-Messumformern, werden von der Auslegung der Messstelle bestimmt.

### 5.3.2 Einstellung analoger Messumformer

Während es die Digitaltechnik ermöglicht, die Parameter eines Messumformers einfach an die Messaufgabe anzupassen, indem die Werte geändert werden, ist dies bei analogen Druck-Messumformern etwas aufwändiger. Zur Veranschaulichung wird der Aufbau eines linearen Messumformers (Typ AV200 von ABB) wie er in den 80-er Jahren üblich war, gezeigt. Die Anpassung wurde in folgenden Schritten vorgenommen.

Als erstes war eine grobe Anpassung des Messbereichsanfangs durch zwei Lötbrücken erforderlich. Die Feineinstellung erfolgt mit einem Potenziometer. Wenn der Messbereichsanfang bei Null lag, reichte es, wenn der Druckausgleich geöffnet wurde und der eingebaute Nullindikator zur Einstellung des Messbereichsanfangs verwendet wurde. Bei Werten ungleich Null, musste der Druck mit entsprechender Genauigkeit von außen vorgegeben werden.



**Bild 5-7:** Möglichkeiten der Anpassung eines linearen Druck-Messumformers

Zur Grobeinstellung der Messspanne war eine vergoldete Steckbrücke vorhanden. Der Feinabgleich erfolgte mit einem zweiten Potenziometer. Zur Kontrolle musste der 20 mA-Wert bei entsprechend genauer externer Druckvorgabe mit einem hinreichend genauen Instrument gemessen werden.

Nach der Einstellung von Messbereichsanfang und Messbereichsende wurde die Kennlinie hinsichtlich der Genauigkeit geprüft. Der Punkt der größten Abweichung, sowie Wert und Richtung der Abweichung, wurden ermittelt. Damit konnten aus Diagrammen die notwendigen Widerstände ermittelt werden, die dann an den entsprechenden Lötstützpunkten zur Linearisierung eingelötet wurden. Anschließend erfolgte eine nochmalige Korrektur von Messbereichsanfang und Messbereichsende.

Während es bei Vierleiter-Messumformern reichte, wenn zuerst der Messbereichsanfang und danach das Messbereichsende eingestellt wurde, war es bei Zweileiter-Messumformern notwendig, diese Einstellung wechselseitig zu wiederholen, bis die gewünschte Messgenauigkeit erreicht war.



### 5.3.3 Einstellung mit Bedientasten

Der bei analogen Messumformern beschriebene Einstellvorgang gestaltet sich bei digitalen Messumformern in der Regel doch wesentlich einfacher. Die notwendigen Schritte werden am Beispiel des Messumformers Typ 261 von ABB kurz dargestellt. Als erstes wird ein Druckwert für den Messbereichsanfang vorgegeben. Dann wird kurz ein Taster in der Elektronik gedrückt. Der Messbereichsanfang ist nun eingestellt.



**Bild 5-8:** Einstellung von Messbereichsanfang und Messbereichsende mit Bedientasten

Im zweiten Schritt erfolgt die Vorgabe des Druckwertes für das Messbereichsende. Nun wird der Taster nochmals, allerdings für längere Zeit gedrückt. Damit ist der Messbereichsendwert eingestellt. Andere Einstellungen sind nicht mehr vorzunehmen, da sie bereits vorab im Herstellwerk für den kompletten Bereich des Drucksensors erfolgt ist und digital gespeichert wurden.

### 5.3.4 Einstellung mit integriertem Digitalanzeiger

Druck-Messumformer mit integriertem Digitalanzeiger (LCD-Anzeiger) bieten die Möglichkeit, alle zur Parametrierung notwendigen Werte, ohne zusätzliche Hilfsmittel direkt einzustellen. Dies erfolgt menügesteuert, so dass der Anwender jederzeit weiß, welchen Parameter er ändert.

Bei einigen konstruktiven Ausführungen ist dazu das Gehäuse zu öffnen, bei anderen ist die Bedienung durch das Glas der Sichtscheibe (TTG-Technologie) möglich. Das ist besonders vorteilhaft bei Ex-Ausführungen mit druckfester Kapselung oder auch bei ungünstigen Umgebungsbedingungen, wie z. B. hohe Feuchtigkeit, Wasser, etc..

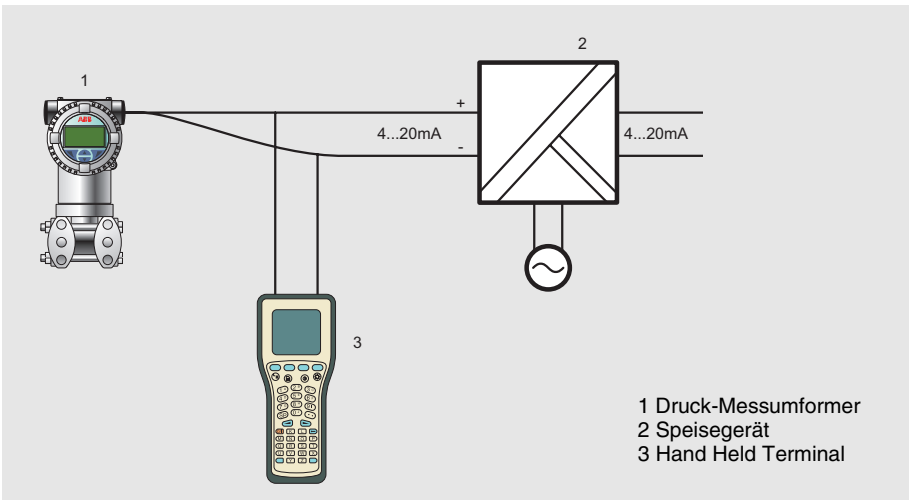


**Bild 5-9:** Einstellung mit integriertem LCD-Anzeiger und Konfiguriertasten

Das Beispiel zeigt die Einstellung von Messbereichsanfang und Messbereichsende, ohne dass eine Druckvorgabe erfolgen muss. In diesem Fall gibt der Anwender einfach die Werte für den Messbereichsanfang und das Messbereichsende als Zahlen ein. Die Kalibrierung des Druck-Messumformers im Herstellerwerk dient dabei als Grundlage.

### 5.3.5 Einstellung mit Hand Held Terminal

Durch die Technologie der digitalen Kommunikation ist auch eine Einstellung mit sogenannten Hand Held Terminals möglich. Dabei wird die Kommunikationsfähigkeit des Messumformers genutzt, um die Geräte-Parameter zu verändern.



**Bild 5-10:** Einbindung eines Hand Held Terminals zur Parametrierung des Messumformers

Der Anschluss erfolgt parallel an die Klemmen eines Zweileiter-Messumformers. Das analoge Ausgangssignal wird durch den Anschluss des Hand Held Terminals nicht beeinflusst. Die Einstellung grundlegender Parameter ist mit Basic HART-Funktionen möglich. Darüber hinaus können gerätespezifische Parameter eingestellt werden, wenn eine Gerätebeschreibung in das Hand Held Terminal geladen wird. Neben HART-Geräten besteht natürlich grundsätzlich die Möglichkeit, auch Geräte mit anderen Kommunikationsprotokollen einzustellen.

### **5.3.6 Bedienprogramme**

Parallel zu den Hand Held Terminals sind auch Bedienprogramme für Druck-Messumformer verfügbar, wobei ebenfalls die Kommunikationsfähigkeit der Messumformer genutzt wird, um Parameter zu ändern. Grundsätzlich werden zwei unterschiedliche Systeme für die Bedienung eingesetzt, DDL und FDT. Es gibt Bestrebungen diese in einem gemeinsamen Standard FDI (Field Device Integration) zusammenzufassen.

#### **DDL-basierte Bedienprogramme**

DDL (Device Description Language), bedeutet so viel wie „Geräte-Beschreibungssprache“. In erneuerter Form ist diese als EDDL (Electronic Device Description Language) in der IEC 61804 verbindlich erfasst.

Diese Sprache wurde zur Beschreibung der Funktion von Geräten in der Automatisierungstechnik mit normalen ASCII-Zeichen entwickelt. Die Realisierung einer gerätespezifischen DDL ist daher relativ einfach. Der Aufwand nimmt allerdings schnell zu, wenn Feldgeräte mit größerem Funktionsumfang zum Einsatz kommen, weil dann der eingeschränkte Befehlsumfang der DDL einen erheblich größeren Aufwand erfordert.

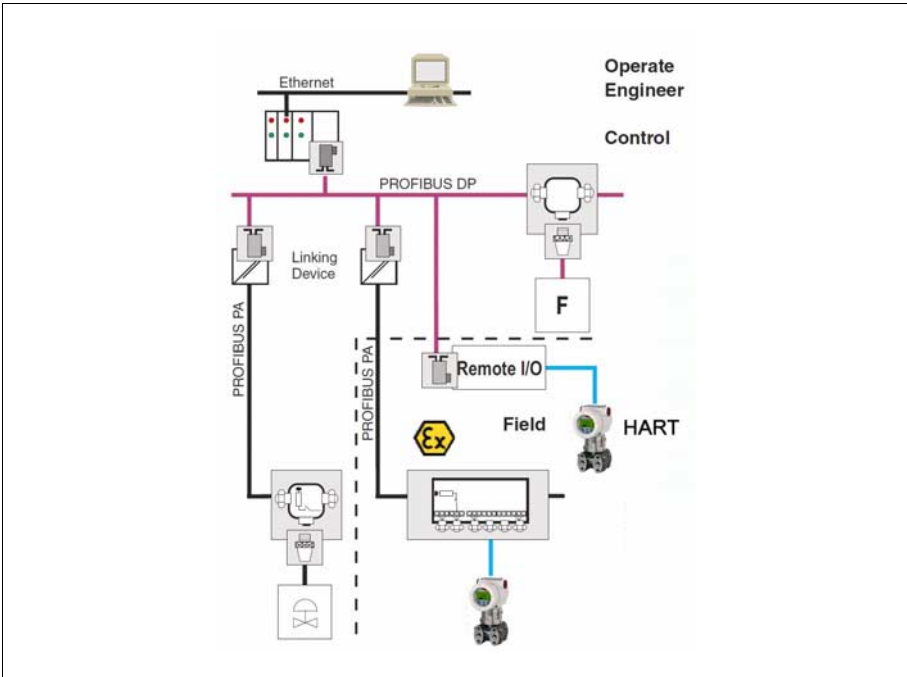
Grundsätzlich ist eine Gerätebeschreibung mit DDL nicht an ein spezielles System gebunden. Daher ist die Verwendung einer DD für ein bestimmtes Feldgerät sowohl in Hand Held Terminals, als auch in PC-basierten Systemen möglich.

#### **FDT-basierte Bedienprogramme**

FDT (Field Device Tool) ermöglicht die Entwicklung gerätespezifischer Bedienoberflächen, die unter einer gemeinsamen Rahmenapplikation lauffähig sind. Diese spezifische Bedienoberfläche wird DTM (Device Type Manager) genannt, und kann mit gängigen Programmiersprachen geschrieben werden. Da diese nicht auf die spezielle Beschreibung von Geräten der Automatisierungstechnik zugeschnitten sind, ist der Aufwand bei einfachen Geräten erst mal größer als bei der Beschreibung mittels DDL. Bei Geräten mit höherer Funktionalität ist es dann allerdings wieder einfacher, komplexere Zusammenhänge zu beschreiben.

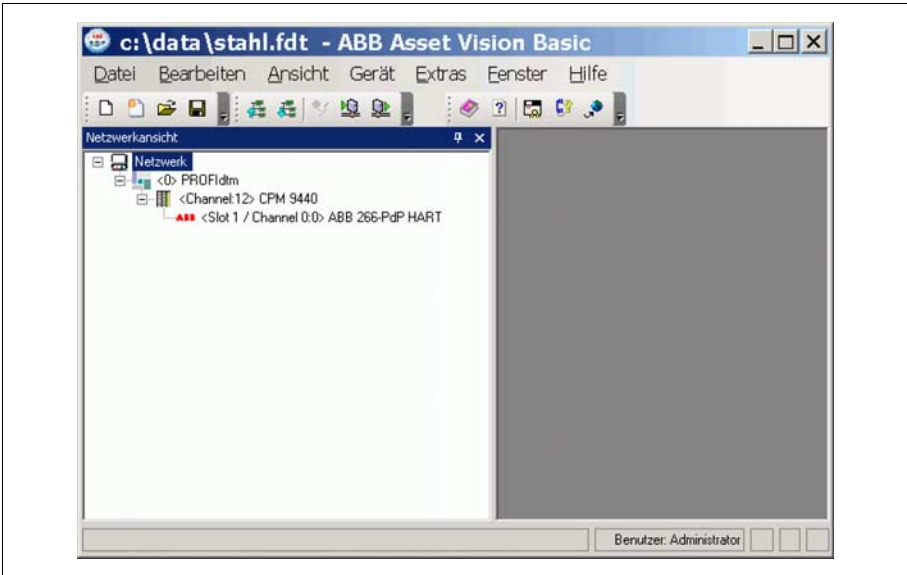
Neben der Darstellung der Bedienoberfläche sind in jedem DTM Informationen über die Art der Kommunikation und Schnittstellen zu anderen Geräten enthalten. Dadurch ist der Anwender in der Lage, Geräte unterschiedlicher Hersteller in einer Anlage zu betreiben und mittels der DTM's zu den einzelnen Geräten in der Rahmenapplikation das auch nachzubilden, um letztlich einen Kommunikationsweg aufzubauen.

So kann z. B. ein HART-Feldgerät an eine Remote-I/O für PROFIBUS angeschlossen sein. Die HART-Kommunikation des Feldgeräts wird von der Remote-I/O über PROFIBUS DP weitergeleitet. Die Verbindung zum PC mit der Rahmenapplikation kann dann über ein USB-Modem erfolgen.



**Bild 5-11:** Einbindung von Druck-Messumformern in eine PROFIBUS-basierte Anlage

In der Rahmenapplikation wird nun in einen Projektbaum als erstes der DTM für das USB-Modem für die PROFIBUS-Verbindung eingefügt. Danach können DTM's für PROFIBUS-Geräte, wie z. B. die Remote-I/O, angelegt werden. Anschließend werden dann die DTM's der angeschlossenen HART-Feldgeräte eingefügt. Der Kommunikationsweg der Geräte in der Anlage ist nun mit den DTM's in der Rahmenapplikation nachgebildet und das jeweilige HART-Feldgerät kann mit dem DTM parametrieren werden.



**Bild 5-12:** Darstellung des Druck-Messumformers im Projektbaum

### 5.3.7 Programmierbare Steuerungen und Leitsysteme

Die Möglichkeiten der Parametrierung von Feldgeräten direkt über eine SPS oder ein Leitsystem ist ebenso möglich, wie mit Einzelplatz-Bedienprogrammen. Dabei werden die gleichen Kommunikationswege genutzt, die für die Übertragung digitaler Messwerte und Statusinformationen bereits vorhanden sind. Als Bedienoberfläche wird dann eine DD oder ein DTM genutzt.

Der Vorteil hierbei ist, dass einerseits keine zusätzlichen Kommunikationskanäle hergestellt werden müssen, andererseits die gleichen DD's bzw. DTM's genutzt werden können, wie bei Einzelplatz-Bedienprogrammen. Bei Verwendung von DTM's sieht die Bedienoberfläche, unabhängig von der jeweiligen Nutzung, immer gleich aus.

### 5.3.8 Einstellbare Parameter

Obwohl jeder Druck-Messumformertyp etwas anders aufgebaut ist und unterschiedliche Parameter hat, gibt es allerdings Gemeinsamkeiten. Bei HART sind bestimmte Parameter grundsätzlich vorgeschrieben. Weitere sinnvolle Parameter sind in der „Common Practice Command-Specification“ beschrieben.

Bei PROFIBUS sind für Druck-Messumformer die grundsätzlich benötigten Parameter vorgeschrieben. Zusätzlich sind weitere wahlweise mögliche Parameter im Detail beschrieben und es gibt freie Bereiche für typspezifische Parameter.

Bei FOUNDATION fieldbus geht die Beschreibung hinsichtlich messtechnischer Parameter zwar nicht so weit ins Detail, die grundsätzlichen Funktionen eines Druck-Messumformers sind hier allerdings, ebenso wie bei Modbus, gleich. Im Folgenden werden die wichtigsten Einstellmöglichkeiten eines Druck-Messumformers und deren sinnvolle Verwendung beschrieben.

### **Identifizierung**

Die eindeutige Identifizierung eines Messumformers ist besonders dann wichtig, wenn die Einstellung nicht direkt am Einbauort durchgeführt werden kann. Erfolgt die Parametrierung z. B. aus einer Warte über digitale Kommunikation, muss sichergestellt werden, dass nicht das falsche Gerät eingestellt wird. Hier ist es hilfreich, wenn bereits im Herstellerwerk ein eindeutiger Kommunikationsname (Messstellenkennzeichen, TAG) in das Gerät eingegeben wurde.

Weitere Daten zur Identifizierung, die auch in der Bedien-Software angezeigt werden können, sind z. B. Gerätetyp, Messzellentyp, Beschreibung der Messstelle und eventuelle Zusatzinformationen. Bei PROFIBUS ist eine eindeutige Adresse, die im Bereich von 1 bis 125 liegen muss, unverzichtbar.

### **Prozessvariable**

Die Prozessvariablen dienen zur Anpassung der Druck-Eingangswerte an das Ausgangssignal. Je nach Anwendungsfall gibt es hierzu alternativ nutzbare Möglichkeiten. Der Übersichtlichkeit halber werden sie nachfolgend am Beispiel eines DTM's erläutert. Zur Kontrolle der Messung wird im oberen Bereich der aktuelle Prozesswert als Druck, Prozentwert und zugehöriges Ausgangssignal dargestellt.

Parametrierung / P/DP / Prozess variable - Online					
Messwerte					
Prozess variable		-0,0825 mbar	Ausgang		-0,0233 %
			Ausgang		03,996 mA
Einstellung					
Einstellungen		Wert			
<input checked="" type="radio"/> Werteingabe <input type="radio"/> Prozessdruckübernahme		Einheit	mbar		
		Messanfang	0,0000 mbar		
		Messende	355,0000 mbar		
		Messanfang setzen			
		Messende setzen			
Prozessvariable Offset (Schieflage - Bias)					
Einstellungen		Wert			
<input checked="" type="radio"/> Prozessvariable auf Wert setzen <input type="radio"/> Prozessvariable auf Null setzen <input type="radio"/> Offset rücksetzen		Neuer Offset Wert	0,0000 mbar		
		Offset Wert	0,0000 mbar		
		Ausführen			
Parallelverschiebung					
Der aktuelle Messwert entspricht:		0 %		Ausführen	

**Bild 5-13:** DTM-Oberfläche mit Prozessvariablen

Die Einstellung der Parameter Messbereichsanfang und Messbereichsende kann durch Werteingabe oder durch Prozessdruckübernahme erfolgen. Durch entsprechende Aktionen werden diese Werte im Druck-Messumformer verändert. Die Änderung wird umgehend an den im DTM dargestellten Ausgangswerten sichtbar.

Bei Aktivierung der „Prozessdruckübernahme“ wird der anliegende Druck als Wert für den Messbereichsanfang bzw. das Messbereichsende verwendet. Diese Art der Einstellung ist z. B. dann hilfreich, wenn bei einer Füllstandmessung die Druckwerte bei einem vollen und leeren Behälter als Referenz für den Messbereichsanfang und das Messbereichsende verwendet werden sollen.

Der Bereich Offset dient z. B. zur Korrektur der Einbaulage. Wenn nach Einstellung des Messbereichsanfangs bei geöffneten Druckausgleich ein Wert ungleich Null als Prozessvariable angezeigt wird, kann dieser durch Aktivierung von „Prozessvariable auf Null setzen“ korrigiert werden. Messfehler, die durch den Einbau entstehen können, werden so beseitigt. Auf die gleiche Weise werden konstante Einflüsse der Umgebungstemperatur und des statischen Drucks eliminiert. Da sowohl bei der „Prozessdruckübernahme“ als auch bei „Prozessvariable auf Null setzen“ mit dem anliegenden Druck gearbeitet wird, macht es in der Praxis Sinn, wenn nur eine der beiden Methoden angewandt wird. Die Korrektur der Einbaulage ist sinnvoll, wenn die Einstellung von „Messbereichsanfang“ und „Messbereichsende“ bereits im Herstellerwerk oder mit der „Werteingabe“ erfolgt ist.

Die Parallelverschiebung dient dazu, den aktuellen Messwert an eine Referenz, wie sie ein Schauglas darstellt, anzupassen. Hierzu erfolgt eine Parallelverschiebung der Werte von Messbereichsanfang und Messbereichsende. Zeigt der Ausgang eines Messumformers z. B. nur einen Wert von 49,85 % an, weil der Einbauort ein paar Millimeter höher als geplant ausgefallen ist, der Referenzwert beträgt aber 50 %, kann der Ausgang des Messumformers dieser Referenz angepasst werden.

### **Übertragungsfunktion**

Hier kann, wie schon bei den „Rechenfunktionen“ beschrieben, eine Übertragungsfunktion gewählt werden. Für einfache Druckmessungen, Höhenstand, etc. wird eine lineare Kennlinie gewählt. Für Durchflussmessungen stehen die Radizierfunktion,  $H^{3/2}$  oder  $H^{5/2}$  zur Verfügung. Mengenmessungen in liegenden Zylindern oder Kugelbehältern sind auch mit entsprechenden Funktionen möglich. Für andere Druck-Messumformer besteht die Möglichkeit, eine beliebige Kurve durch die Eingabe von bis zu 22 Wertepaaren nachzubilden.

### **Ausgangsparameter**

Der Bereich des Analogausgangs eines Messumformers beträgt 4...20 mA. Mit der Einstellung von „Messbereichsanfang“ und „Messbereichsende“ ist der wichtigste Teil erledigt. Als weitere Einstellmöglichkeit kommt noch die Dämpfung hinzu.

Weiterhin kann dem Ausgang eine physikalische Einheit, sowie ein Anfangswert und ein Endwert zugeordnet werden. Diese Einheit kann wahlweise auf dem Anzeiger dargestellt bzw. mit digitaler Kommunikation übertragen werden. So ist es ohne weiteres möglich, die Druckwerte 0...350 mbar als Füllmengenmessung 0...1000 m<sup>3</sup> für einen liegenden zylindrischen Behälter oder 0...500 t/h für eine Durchflussmessung, zuzuordnen. Bei PROFIBUS und FOUNDATION fieldbus kommt zusätzlich noch die Einstellung von Grenzwerten hinzu.

### **Stromausgang**

Bei Druck-Messumformern mit analogem Ausgangssignal besteht die Möglichkeit, den Analogausgang, gemäß den Erfordernissen der Messstelle, anzupassen. Einstellmöglichkeiten stehen hier für den Ausgang im Fehlerfall (Hochalarm/Tiefalarm), sowie für den maximalen und minimalen Stromwert bei Über- und Untersteuerung des Messumformers zur Verfügung. Außerdem kann der Stromwert zur Fehlermeldung eingestellt werden.



## Kalibrierung

Wie zuvor beschrieben, wird ein digitaler Druck-Messumformer bereits bei der Herstellung kalibriert. Diese Kalibrierung ist eine Grundvoraussetzung, damit der Anwender später z. B. die Werte für Messbereichsanfang und Messbereichsende beliebig ändern kann, ohne den entsprechenden Druckwert als Referenz an den Messumformer anlegen zu müssen. Zur Korrektur von Lageeinflüssen, Alterung, etc. bietet sich die Verschiebung des Nullpunktes an.

Muss ein Druck-Messumformer trotzdem neu kalibriert werden, ist zu beachten, dass die verwendeten Referenzen deutlich besser sind, als das zu kalibrierende Gerät.

Kalibrieren / Drucksensor			
Messwerte			
Prozesswert		-0,0829 mbar	
Messwerktemperatur		23,549 °C	
Abgleichpunkte			
Unterer Abgleichpunkt		<input type="text" value="0,0000"/> mbar	<input type="button" value="Abgleichen"/>
Oberer Abgleichpunkt		<input type="text" value="400,0000"/> mbar	<input type="button" value="Abgleichen"/>
Messwerktemperatur		<input type="text" value="22"/> °C	<input type="button" value="Abgleichen"/>
Integrationszeit		<input type="text" value="1,28"/> s	<input type="button" value="Abgleichen"/>

**Bild 5-14:** DTM-Oberfläche für die Kalibrierung

Der Kalibriervorgang wird hier am Beispiel des DTM's für den Differenzdruck-Messumformer 266MST von ABB beschrieben.

Im oberen Teil des Fensters werden zur Kontrolle die aktuellen Werte des Differenzdrucks und der Messzellentemperatur dargestellt. Der Abgleich der Messzellentemperatur erfolgt durch Eingabe eines neuen Wertes für die Messzellentemperatur und Aktivierung von Abgleichen. Dieser Vorgang ist unkritisch, weil hiermit keinerlei Einfluss auf die Genauigkeit der Differenzdruckmessung gegeben ist. Diese Kalibrierung hat nur Einfluss auf die Darstellung der Drucksensortemperatur im Anzeiger, DTM, etc.

Bevor die Abgleichpunkte für den Differenzdruck neu kalibriert werden, sollte die Integrationszeit auf den Maximalwert eingestellt werden. So wird die höchste Genauigkeit für die Analog-/Digital-Wandlung erreicht. Im nächsten Schritt wird der Druckwert für den unteren Abgleichpunkt am Messumformer angelegt. In den meisten Fällen ist das Null. Der zugehörige Button „Abgleichen“ wird aktiviert. Der angezeigte Messwert wird „eingefroren“. Der gleiche Vorgang ist für den oberen Abgleichpunkt zu wiederholen. Abschließend wird die Integrationszeit wieder auf den gewünschten Wert eingestellt.

Neben einem genauen Referenzdruck müssen beim Kalibriervorgang auch die Umgebungsbedingungen stabil sein. Der Druck-Messumformer muss fest montiert sein und eine konstante Temperatur ausweisen. Ebenso müssen die atmosphärischen Bedingungen stabil sein. Ähnlich wie der Drucksensor für den Differenzdruck, kann auch der Sensor für den statischen Druck und der Digital-/Analog-Wandler neu kalibriert werden.

## 5.4 Diagnose

Abhängig von den Anforderungen einer Messstelle oder der Ausführung des Druck-Messumformers gibt es unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzung von Status- und Diagnoseinformationen. Es werden zusätzliche Informationen zum Prozess und/oder dem Messumformer angeboten. Das kann zur Erhöhung der Sicherheit der Messstelle dienen, was bedeutet, dass eine Anlage im Fehlerfall in den sicheren Zustand gefahren wird. Zum andern kann die Diagnose auch genutzt werden, um die Verfügbarkeit einer Anlage zu erhöhen.

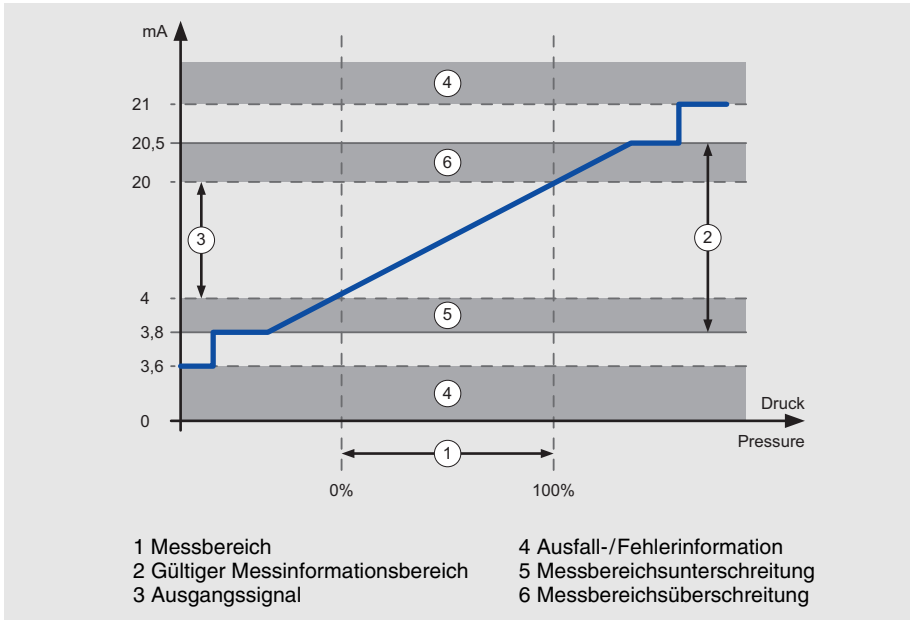
Wenn an einem Druck-Messumformer z. B. der Sensor für die Temperaturmessung einen Defekt hat, liefert der Messumformer immer noch ein Ausgangssignal, das jedoch mit einem höheren Messfehler behaftet ist. Wird dieser Fehler nicht überwacht, arbeitet die Anlage trotz des erhöhten Fehlers ohne Ausfall weiter. Wird der Temperatursensor jedoch überwacht und der Messumformer in den Alarmzustand geschaltet, fällt die Messung aus. Die Anlage kann in den sicheren Zustand gefahren werden, was möglicherweise Stillstand bedeutet. D. h., in diesem Fall wurde durch die zusätzliche Diagnose die Verfügbarkeit der Anlage reduziert.

Damit die Meldung dieses Fehlers allerdings nicht zum Stillstand führt, besteht die Möglichkeit, dass die Steuerung das benötigte Signal durch eine Ersatzstrategie umgeht. So kann die Anlage weiterarbeiten, während das als defekt gemeldete Gerät ersetzt wird. Bei sehr wichtigen Messstellen kann auch eine „zwei von drei-Auswahl“ mit drei parallelen Messumformern durchgeführt werden. Fällt ein Messumformer aus, genügt das Signal zweier Geräte zum weiteren Betrieb, bis das defekte Gerät ausgewechselt ist.

Eine weitere Verbesserung der Verfügbarkeit erhält man durch die geeignete Wahl der Bauelemente des Messumformers. Auch können Statusinformationen vorbeugend genutzt werden, um z. B. bei der nächsten Revision Wartungsarbeiten durchzuführen, die einem Ausfall vorbeugen. Z. B. Reinigen der Wirkdruckleitungen beim Ansprechen der „Plugged Impulse Line Detection“.

### 5.4.1 Diagnose bei Analogausgang

Die einfachste Form der Diagnose bei Geräten mit Analogausgang besteht in der Überwachung des Ausgangsstromsignals 4...20 mA. Ein Kurzschluss zwischen den Leitungen führt zu einem Strom, der deutlich über 20 mA liegt. Bei einem Leitungsbruch liegt das Signal eindeutig unter 4 mA. Ebenso führen eine Reihe von Fehlern im Gerät dazu, dass der Bereich von 4...20 mA verlassen wird.



**Bild 5-15:** Grenzen zur Fehlersignalisierung nach NAMUR-Empfehlung NE43

Allerdings ist das Verlassen des 4...20 mA-Bereichs bei rein analogen Geräten lediglich ein Zeichen dafür, dass nicht alles „normal“ ist. Wo Fehler liegen, ist anfangs nicht zu erkennen. Die NAMUR-Empfehlung NE43 gibt eindeutige Hinweise auf die Bedeutung der Grenzwerte bei der Fehlersignalisierung.

## 5.4.2 Diagnose mittels HART-Kommunikation

Die HART-Kommunikation bietet ebenfalls weitergehende Möglichkeiten zur Diagnose. In den HART-Spezifikationen ist festgelegt, dass in jedem Telegramm, das ein HART-Gerät sendet, auch ein Byte mit Statusinformationen zum HART-Gerät enthalten ist.

Die einzelnen Bits dieses Bytes sind folgendermaßen zugeordnet:

- Bit 0 Die erste Variable (PV) ist außerhalb des eingestellten Bereichs.  
Das ist der Messwert, dem der Bereich von 4...20 mA zugeordnet ist.
- Bit 1 Eine andere Variable ist außerhalb des Bereichs.  
Das kann ein von PV abgeleiteter Wert, oder der Wert eines zusätzlichen Sensors sein.
- Bit 2 Der analoge Ausgangswert (4...20 mA) zu PV befindet sich an der eingestellten Grenze. Der Messwert wird deshalb nicht mehr korrekt dargestellt.
- Bit 3 Der Analogausgang ist fest eingestellt und gibt nicht den Messwert wider.  
Schleifentest oder wenn der Messwert kontinuierlich digital gesendet wird (Multidrop).
- Bit 4 Es sind mehr Statusinformationen vorhanden.  
Abfrage der Informationen mit Kommando #48. Ergänzende Informationen zu vorhandenen Meldungen oder weitere Status-Informationen.
- Bit 5 Kaltstart.  
Die Versorgungsspannung wurde unterbrochen und das Gerät startet neu. Das Bit kann auch nach Rücksetzen oder einem Selbsttest gesetzt werden.
- Bit 6 Die Konfiguration wurde geändert.  
Ein Schreibkommando oder Rücksetzen wurde ausgeführt.
- Bit 7 Fehlfunktion im Feldgerät.  
Die interne Diagnose hat einen Fehler im Gerät gefunden. Weitere Informationen können eventuell mit Kommando #48 abgefragt werden.

Mit Kommando #48 besteht die Möglichkeit, weitere Statusinformationen zum Gerät abzurufen. Da diese Informationen typspezifisch sind, wird hierzu ein DTM, EDD oder Asset Monitor verwendet, der üblicherweise vom Hersteller des Geräts zur Verfügung gestellt wird.

### 5.4.3 Diagnose bei PROFIBUS

Ähnlich wie bei HART, sind auch für PROFIBUS-Geräte Diagnosemeldungen spezifiziert. Bei der zyklischen Übertragung von Messwerten wird mit jedem Messwert ein Statusbyte übertragen, das Auskunft über die Qualität des Messwerts gibt. Aus den Angaben im Statusbyte geht klar hervor, ob der übertragene Messwert gut, unsicher oder mangelhaft ist. Zusätzlich wird die Überschreitung von Grenzwerten angezeigt.

Weiterhin ist im „Physical Block“ ein Parameter DIAGNOSIS mit einer Länge von 4 Byte enthalten, der bei Bedarf ausgelesen werden kann. Die Meldungstexte zu diesen Diagnosedaten sind in der GSD-Datei zu dem Gerät enthalten.

Als Beispiel hierzu die Texte zu einem Standard PROFIBUS PA-Feldgerät:

- Hardware failure electronics
- Hardware failure mechanics
- Motor temperature too high
- Electronic temperature too high
- Memory error
- Measurement failure
- Device not initialized
- Device initialization failed
- Zero point error
- Power supply failed
- Configuration invalid
- Restart
- Coldstart
- Maintenance required
- Characteristics invalid
- Ident\_Number violation
- Failue of device or armature
- Maintenance demanded
- Function check mode
- Invalid process conditions
- Extension Available

Diese Meldungen werden nicht unbedingt von jedem Feldgerät genutzt. Ein Druck-Messumformer hat zum Beispiel keinen Motor. Deshalb kann die Meldung „Motor temperature too high“ bei Druck-Messumformern entfallen.

Die Meldung „Extension Available“ entspricht hierbei dem Bit 4 beim HART-Protokoll. Es sind dann mehr Statusinformationen vorhanden, die mit weiteren Bits abgefragt werden können.

Die weiteren Meldungen sind im Parameter DIAGNOSIS\_EXTENSION angegeben. Diese erweiterten Diagnosedaten sind typspezifisch. Meldetexte hierzu stehen ebenfalls in der GSD-Datei.

#### **5.4.4 Diagnose bei FOUNDATION fieldbus**

Ähnlich wie bei PROFIBUS wird auch bei FOUNDATION fieldbus mit jedem Messwert ein Statusbyte mit Angaben zur Qualität des Messwerts gesendet.

Zu jedem FOUNDATION fieldbus-Gerät gehört eine Gerätebeschreibung (DD), die bei der Zertifizierung mit dem Gerät geprüft wird. In dieser Datei sind sämtliche typspezifischen Angaben zur Diagnose angegeben.

#### **5.4.5 Diagnose bei Modbus**

Bei Modbus ist sind keine speziellen Diagnosedaten für den Gerätestatus und die Prozesswerte definiert. Durch typspezifische Diagnoseangaben sind allerdings ebenso ausführliche Beschreibungen des Gerätezustande möglich, wie bei den anderen Protokollen.

#### **5.4.6 Diagnose in der Praxis**





In der Praxis stellt sich die Frage: „Was benötige ich wirklich?“. Ist die Diagnose bei PROFIBUS wirklich besser als bei HART. Oder sind die Diagnosemöglichkeiten bei FOUNDATION fieldbus am besten anwendbar.

Während zu Beginn der digitalen Kommunikation die Diagnosemeldungen oft so weitergegeben wurden, wie sie der Messumformer festgestellt hat, gibt inzwischen die Namur-Empfehlung NE107 „Selbstüberwachung und Diagnose von Feldgeräten“ eine sehr gute Hilfestellung. Die Empfehlung unterscheidet, ob ein Wartungsbedarf oder Ausfall vorliegt, oder ob die Betriebsbedingungen außerhalb der Spezifikationen liegen. Weiterhin ist zu erkennen, ob eine Funktionskontrolle, z. B. Schleifentest, durchgeführt wird.

Bei der Frage nach dem geeigneten Kommunikationsprotokoll spielt die Diagnosemöglichkeit eine eher untergeordnete Rolle, da sämtliche Fehlermeldungen grundsätzlich mit jedem Protokoll übertragen werden können.

## 5.4.7 Diagnose mit Digitalanzeiger

Bei Druck-Messumformern mit integriertem Digitalanzeiger ist ebenfalls eine ausführlichere Diagnose möglich. Bei einer Störung wird in der Anzeige ein Symbol gemäß der NE107 dargestellt. Den Symbolen sind folgende Bedeutungen zugewiesen:

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

Hinter dem Symbol ist üblicherweise ein Text angegeben, der den Fehler näher klassifiziert. Also ob der Fehler in der Elektronik, der Messzelle, der Konfiguration, im Prozess oder bei den Umgebungsbedingungen zu suchen ist.

Über die LCD-Anzeige kann menügesteuert die Beschreibung des Fehlers aufgerufen werden. Zusätzlich ist eine Fehler-Nr. angegeben. Zu dieser Fehler-Nr. sind in den Betriebsunterlagen eines Messumformers Angaben zur möglichen Fehlerursache, sowie empfohlene Aktionen zur Fehlerbeseitigung enthalten.

## 5.4.8 Darstellung der Diagnose im DTM

Da bei sämtlichen Protokollen die Möglichkeit besteht, zusätzliche Diagnosedaten zu übertragen, kann die Diagnose in einem DTM grundsätzlich unabhängig vom Kommunikationsprotokoll sehr ausführlich dargestellt werden. Nachfolgend ein Beispiel zur Darstellung im DTM eines Messumformers für HART-Kommunikation.

**Diagnose / Übersicht**

Simulationsmodus ein/aus

Diagnoseüberwachung

- ABB 266 HART : Gewartet werden muss:
  - ✓ Elektronik
  - ✓ Sensor / Antriebe
  - Einbau / Inbetriebnahme
    - Konfiguration geändert
      - Mögliche Ursache: Die Gerätekonfiguration wurde durch ein Schreib- oder Setzkommando bzw. durch eine Drucklastenbeteiligung verändert.
      - Empfohlene Maßnahme: Darauf achten, dass eine exakte Kopie der Konfiguration im Gerät auch im DTM vorhanden ist, d.h. Konfiguration n...
  - ✓ Prozess
  - ✓ Betriebsbedingungen
  - ✓ Andere

Die Bereiche Elektronik, Sensor, Prozess, Betriebsbedingungen und Andere sind fehlerfrei, wie zu erkennen ist. Weitere Anzeigen bleiben zugunsten der Übersichtlichkeit ausgeblendet. Im Bereich Einbau/Inbetriebnahme liegt eine Meldung vor. Der blaue Schraubenschlüssel ist gemäß dem FDT-Style Guide das Symbol für Wartung. Als Text zum Fehler wird „Konfiguration geändert“ angezeigt. Die mögliche Ursache wird erläutert und es ist angegeben, wie die Meldung abgestellt werden kann.

Ähnlich wie im DTM, können die Diagnosedaten auch mittels EDD oder im Leitsystem angezeigt werden. Im Leitsystem kommt die Möglichkeit hinzu, abhängig von unterschiedlichen Meldungen, Ersatzstrategien zu fahren oder besondere Warnmeldungen zu erzeugen. Damit kommt der Wunsch auf, vor Inbetriebnahme zu testen, ob auf eine Diagnosemeldung des Messumformers das Leitsystem auch richtig reagiert. Hierzu gibt es im DTM die Möglichkeit den Simulationsmodus zu aktivieren.



**Bild 5-16:** Simulation der Diagnosemeldungen mit DTM



## 6 Auslegung von Druck-Messumformern

Für die Auslegung eines Messumformers müssen die Prozess- und Umgebungsbedingungen, bei denen das Gerät eingesetzt werden soll, bekannt sein. Das sind:

- Der Prozessdruck, mögliche Überlastungen.
- Werkstoffverträglichkeit.
- Korrosionsbeständigkeit von Werkstoffen, die mit dem Messmedium in Berührung kommen.
- Umgebungs- und Prozesstemperatur.
- Anforderungen an die Gerätesicherheit, z. B. Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen.
- Erforderliche Bauartzulassungen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Kriterien erläutert, die für die Auslegung eines Druck-Messumformers zu betrachten sind.

### 6.1 Messspanne

Die Messspanne ist eine der wichtigsten Kenngrößen des Messumformers. Während die maximal mögliche Messspanne durch den verwendeten Drucksensor vorgegeben ist, wird die einzustellende Messspanne durch die Anwendung vorgegeben.

Bei Messumformern mit analogem Ausgangssignal, z. B. 4...20 mA, kennt man die eingestellte Messspanne. Es ist der Bereich, der durch das Ausgangssignal abgebildet werden soll. Aus Gründen der Messgenauigkeit sollte der Druck-Messumformer so ausgewählt werden, dass das Verhältnis aus eingestellter Messspanne und maximaler Messspanne möglichst klein ist.

Bei Messumformern mit einem digitalen Ausgangssignal, z. B. PROFIBUS oder FOUNDATION fieldbus, kann das Ausgangssignal immer die maximal mögliche Messspanne abbilden. Natürlich ist es auch bei diesen Geräten so, dass die Messgenauigkeit immer geringer wird, je kleiner der Messwert, verglichen mit der maximal möglichen Messspanne, ist. Es ist also auch hier darauf zu achten, dass der normale Arbeitsbereich des Druck-Messumformers nicht zu klein wird.

Bei Messumformern mit digitalem Ausgangssignal ist die eingestellte Messspanne nur dann von Belang, wenn der Ausgang nicht die direkte Messgröße, also den physikalischen Druck oder Differenzdruck, darstellen soll, sondern eine abgeleitete Größe, wie z. B. einen Durchfluss oder Füllstand. Hier gelten dann die gleichen Auswahlkriterien wie bei Geräten mit analogem Ausgangssignal.

## 6.2 Betriebsdruck

Der Betriebsdruck ist in erster Linie für Differenzdruck-Messumformer wichtig, weil die eigentliche Messgröße meistens sehr viel kleiner ist als der prozessbedingte Betriebsdruck. Deshalb werden Differenzdruck-Messumformer mit unterschiedlichen Druckstufen angeboten. Die Druckstufe gibt an, wie hoch der zulässige Betriebsdruck ist, bei dem das Gerät innerhalb der spezifizierten Daten arbeitet.

Differenzdruck-Messumformer sind konstruktiv mit Überlastschutzsystemen ausgestattet, die sicherstellen, dass auch bei sehr hohem Druck, der weit über die maximale Messspanne hinausgeht, die Drucksensoren nicht beschädigt werden. Mit der Druckstufe ist deshalb nicht nur der zulässige Betriebsdruck spezifiziert, sondern sie ist gleichzeitig auch ein Maß dafür, wie hoch die Überlastung des Messumformers sein darf, die anwendungsbedingt oder durch Fehlbedienungen hervorgerufen, auftreten kann.

Bei Messumformern für Absolutdruck und Überdruck ist in der Regel der maximale Betriebsdruck mit der eingestellten Messspanne gleich zu setzen. Wenn damit gerechnet werden muss, dass Druck auftritt, der über die maximale Messspanne hinausgeht, muss überprüft werden, ob die gewählte Auslegung dieser Überlastung standhält oder ob ein Gerät mit höherer maximaler Messspanne verwendet werden muss.

Wenn bei Überdruckmessungen trotz kleiner einzustellender Messspannen hoher Überlastdruck erwartet wird, kann es sinnvoll sein, die Messaufgabe mit einem Differenzdruck-Messumformer, der für hohe Überlastung konstruiert wurde, durchzuführen. Dann wird nur die Hochdruckseite des Messumformers mit dem Prozess verbunden, die Niederdruckseite bleibt offen und dient lediglich als Referenz zum Atmosphärendruck.

## 6.3 Füllflüssigkeit

Die Füllflüssigkeit überträgt den Druck von den Trennmembranen zum eigentlichen Drucksensor. Sie kommt im Normalfall nicht mit dem Messmedium in Berührung. Trotzdem muss der Auswahl der Füllflüssigkeit Beachtung geschenkt werden. Die Eigenschaften der jeweils verwendeten Füllflüssigkeit haben Einfluss auf den Bereich der zulässigen Betriebstemperatur und den minimal zulässigen Unterdruck, bei dem der Druck-Messumformer innerhalb der spezifizierten Daten arbeitet.

Die am häufigsten verwendete Füllflüssigkeit ist Silikonöl, das sowohl bei der Unterdruckfestigkeit als auch bei der Betriebstemperatur die besten Eigenschaften hat und die weitesten Bereiche zulässt. Bei bestimmten Anwendungen wird angenommen, dass durch einen Defekt der Trennmembranen die Füllflüssigkeit doch mit dem Messmedium in Berührung kommen kann. Wenn dieser Kontakt bei bestimmten Messmedien nicht zulässig ist, muss demzufolge eine Füllflüssigkeit gewählt werden, die beim Zusammenkommen mit dem speziellen Messmedium keine Probleme bereitet.

Beispielhafte Anwendungen für bestimmte Füllflüssigkeiten:

- Im Bereich Lebensmittelherstellung oder Pharmazieproduktion sind Füllflüssigkeiten vorgeschrieben, die für den menschlichen Verzehr unbedenklich sein müssen. Silikonöle, die von den anerkannten Gutachtern, z. B. der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA), zugelassen sind, sind für den Einsatz in Messumformern aufgrund ihrer Viskosität nicht besonders gut geeignet. In diesen Fällen werden beispielsweise medizinische Weißöle verwendet.
- Im Bereich der Sauerstoffmessung ist die Füllflüssigkeit ebenfalls von besonderer Bedeutung. Sauerstoff, der unter Druck steht, entzündet sich leicht bei Kontakt mit bestimmten Materialien. Deshalb muss hier eine Füllflüssigkeit verwendet werden, bei der im geforderten Druck- und Temperaturbereich diese Gefahr nicht besteht. Fluorkohlenstoffe sind dafür in der Regel gut geeignet.
- Auch bei der Druckmessung von Chlor als Messmedium ist besondere Vorsicht bezüglich der Füllflüssigkeit geboten. Bei Kontakt mit Silikonöl entsteht eine explosionsartige Reaktion. Deshalb sind dafür ebenfalls Fluorkohlenstoffe als Füllflüssigkeit auszuwählen.

## 6.4 Werkstoffe und Beständigkeit

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Auswahl des geeigneten Messumformers ist die Korrosionsbeständigkeit der messmediumberührten Teile. Korrosion ist die allmähliche Zerstörung eines Metalls durch chemische oder elektrochemische Mittel. Sie wird durch die Konzentration der korrosiven Bestandteile im Messmedium und durch die Temperatur beeinflusst.

Dabei steht die Betrachtung der Trennmembran im Vordergrund. Sie ist aufgrund der Materialstärke am empfindlichsten und daher am ehesten Korrosionsangriffen ausgesetzt. Bei den Druckkappen von Differenzdruck-Messumformern und den Prozessanschlüssen von Absolutdruck-/Überdruck-Messumformern kann wegen der hohen Wandstärken häufig eine geringe Korrosion zugelassen werden, ohne dass dadurch die Lebensdauer des Messumformers zu sehr eingeschränkt wäre.

Während Messzellen für die Absolutdruck- oder Überdruckmessung sehr häufig vollständig verschweißt sind, werden bei Differenzdruck-Messzellen fast immer Dichtringe für die Abdichtung zwischen Druckkappen und Messzelle verwendet. Auch diese Bauteile müssen in die Betrachtung der Korrosionsbeständigkeit mit einbezogen werden, weil ein Versagen zu einem Leck und damit zum Austritt des Messmediums führen kann.

Außerdem ist bei allen Werkstoffen zu überprüfen, ob neben der möglichen Korrosion eine grundsätzliche Unverträglichkeit mit dem Messmedium zu erwarten ist.

Beispiele:

- Dichtringe, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, müssen speziell für diesen Einsatz auch zugelassen sein.
- Bei der Messung von Sauerstoff sollte kein Kohlenstoffstahl verwendet werden, da er sich bei Druckstößen in Verbindung mit Sauerstoff entzünden kann.

Korrosion wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, z. B. von der Konzentration des korrosiven Stoffes im Messmedium, von der Kombination verschiedener korrosiver Stoffe im Messmedium und von der Temperatur. Deshalb kann der Hersteller nur Empfehlungen für die Eignung bestimmter Werkstoffe für das jeweilige Messmedium geben. Letztendlich muss immer der Anwender aufgrund seiner Erfahrung mit den unterschiedlichen Medien, die in der Anlage verwendet werden, die verantwortliche Entscheidung für die zu verwendenden Werkstoffe treffen.

Als Anhaltspunkt zur Beurteilung der Korrosionsbeständigkeit kann die folgende Beschreibung verschiedener Werkstoffe verwendet werden. Weitere Informationen dazu sind in Kapitel 15 „Werkstoffe, Beständigkeitstabelle“ enthalten.

### **Werkstoffe für Trennmembranen, Druckkappen, Prozessanschlüsse**

Nichtrostender Stahl, z.B. 1.4404 (AISI 316L)

hat allgemein eine gute Korrosionsbeständigkeit, selbst bei Salpetersäure und vielen anderen Säuren, wenn sie in niedriger Konzentration vorliegen. Ausnahmen sind nichtoxidierende Säuren wie Salzsäure, Flusssäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure. Die Korrosionsbeständigkeit bei Laugen, organischen Säuren und anderen organischen Verbindungen wird stark von der Temperatur beeinflusst. Ionische Halogenverbindungen wie Fluoride, Chloride, Bromide, Iodide können Lochkorrosion, aber auch Spannungsrisskorrosion hervorrufen.

Hastelloy C

ist für nahezu alle Messmedien geeignet, für die auch nichtrostender Stahl verwendet werden kann und wird darüber hinaus für Laugen, organische Säuren und andere organische Verbindungen eingesetzt. Eine ebenfalls gute Beständigkeit hat Hastelloy C bei Phosphorsäure, Nickel- und Kupferchlorid. Bei nicht zu hohen Temperaturen ist es auch gegen Salzsäure und Schwefelsäure in vielen Konzentrationen beständig. Hastelloy C wird außerdem bei Anwendungen mit stehendem Meerwasser eingesetzt.

## Monel

hat bei Raumtemperatur eine gute Widerstandsfähigkeit gegen die meisten der nichtoxidierenden Salze, wie Flusssäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure und wird auch bei Meerwasser-Anwendungen eingesetzt.

## Tantal

kommt bei der Messung von Phosphorchloriden, Natriumchlorid oder Salzsäure zum Einsatz.

## Gold

Ist als Beschichtung der Trennmembranen bei der Messung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigen Medien erforderlich, um eine Diffusion des Wasserstoffs in die Füllflüssigkeit des Messumformers zu verhindern. Dies stellt kein Korrosionsproblem im eigentlichen Sinne dar. Eine Ansammlung von Wasserstoff in der Füllflüssigkeit hat im einfachsten Fall erhöhte Messfehler zur Folge, sie kann sogar eine Zerstörung des Messumformers hervorrufen.

## PVDF (Kynar)

ist nahezu gegen alle Medien korrosionsbeständig. Dieser Werkstoff eignet sich nicht für Trennmembranen, allenfalls als Beschichtung. Es findet aber Verwendung bei Druckkappen, wenn der Betriebsdruck relativ gering ist (bis ca. 10 bar).

## Werkstoffe für Dichtringe

### NBR (Buna)

hat gute mechanische Eigenschaften und ein gutes Tieftemperaturverhalten. Er hat gute Beständigkeit gegenüber Mineralölen ist aber ungünstig bei oxidierenden Medien.

### FPM (Viton)

ist sehr gut bei hohen Temperaturen einsetzbar und besitzt eine gute chemische Beständigkeit und ist daher auch bei Messungen in Verbindung mit Mineralölen gut geeignet.

### PTFE

besitzt eine nahezu universelle chemische und eine sehr hohe thermische Beständigkeit. Die mechanischen Eigenschaften von PTFE werden häufig durch verschiedene Füllstoffe verbessert.

### EPDM

eignet sich gut für die Verwendung in Hydraulikflüssigkeiten auf Phosphatesterbasis, für Bremsflüssigkeiten auf Glykolbasis und Heißwasser sowie Heißdampf.

Auf einen Sonderfall der Korrosion soll hier speziell eingegangen werden, und zwar auf Anwendungen mit sogenanntem Sauer gas im industriellen Öl- und Gas-Umfeld. Dabei handelt es sich um Messmedien mit einem Anteil von Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ).

Nichtrostender Stahl wird von Schwefelwasserstoff nicht im Sinne von abtragender Korrosion angegriffen. Es kann aber, abhängig von Materialgefüge, Materialhärte und Legierungsbestandteilen, zu Spannungsrisskorrosion kommen, die dann zu einem Versagen der Bauteile unter Druckbeanspruchung führt.

Im internationalen Standard NACE MR0175 bzw. MR0103 sind die Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften beschrieben, bei denen diese Art der Korrosion ausgeschlossen werden kann. Bei Anwendungen mit Schwefelwasserstoff ist deshalb darauf zu achten, dass für die drucktragenden Bauteile eines Messumformers Werkstoffe eingesetzt werden, die diesem Standard entsprechen. Dabei müssen ausdrücklich auch die Kappenschrauben von Differenzdruck-Messumformern mit betrachtet werden, obwohl sie nicht messmediumberührt sind.

## 6.5 Temperaturgrenzen

Bei der Überprüfung der notwendigen bzw. zulässigen Temperatureinsatzbereiche wird nach Umgebungstemperatur und Prozesstemperatur unterschieden. Während die Umgebungstemperatur mit wirtschaftlichem Aufwand nur in geringem Umfang beeinflussbar ist, kann der Messumformer oft mit relativ einfachen Maßnahmen gegen die Auswirkungen hoher Prozesstemperaturen geschützt werden.

Zum Schutz gegen zu hohe Umgebungstemperaturen kann der Messumformer beispielsweise in einem Schutzkasten oder unter einem Schutzdach montiert werden, um direkte Hitzeeinwirkung zu verringern. Zum Schutz vor sehr tiefen Temperaturen kann der Messumformer durch eine zusätzliche Heizung erwärmt werden. Damit sind die Möglichkeiten der Beeinflussung der Umgebungstemperatur allerdings im Wesentlichen schon erschöpft.

Gegen hohe oder sehr niedrige Prozesstemperaturen kann der Messumformer durch angepasste Montageanordnungen geschützt werden. Vorrangig sind die Wirkdruckleitungen zu nennen, die die Verbindung zum Prozess herstellen. Durch ihre Länge kann auch eine sehr hohe Prozesstemperatur auf zulässige Werte herabgesetzt bzw. eine zu niedrige Temperatur heraufgesetzt werden. Wenn Wirkdruckleitungen wegen Verstopfungsgefahr oder aus anderen Gründen nicht zulässig sind, kann der Messumformer mit vorgeschalteten Trennmembransystemen (Druckfühler) ausgerüstet werden. Das sind rein mechanisch oder hydraulisch arbeitende Anbauteile, die sehr viel größere Temperaturbereiche zulassen als der Messumformer selbst.

## 6.6 Zulassungen, Zertifikate

Für Prozesse, die ein besonderes Gefährdungspotenzial für die Anlage selbst, für die Umwelt oder für Menschen beinhalten, kann es gesetzlich vorgeschrieben sein, Messumformer einzusetzen, die von unabhängigen Gutachtern einer Baumusterprüfung unterzogen wurden. Im Bereich der Feldinstrumentierung ist die am weitesten verbreitete Baumusterprüfbescheinigung, die für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen. Die Zündschutzart des Messumformers muss der vorhandenen Anlageninstallation entsprechen und für die vorhandene Stoffgruppe zugelassen sein.

Beispielhaft seien einige ebenfalls gebräuchliche Zulassungen aufgeführt. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Überfüllsicherung für brennbare und/oder wassergefährdende Stoffe.
- Zulassung für den Einsatz auf Schiffen von unterschiedlichen Klassifizierungsgesellschaften.
- Geräte mit zertifiziertem Safety Integrity Level (SIL), entsprechend der Normen IEC 61508 bzw. IEC 61511 für funktionale Sicherheit.



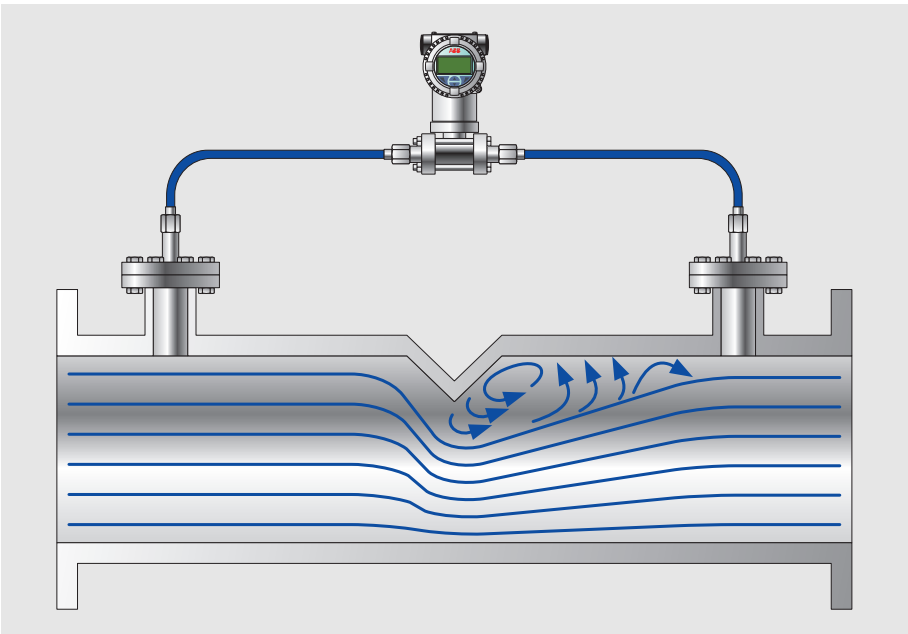


# 7 Durchflussmessung nach dem Wirkdruck-Messverfahren

## 7.1 Grundlagen des Messprinzips

Zur Durchflussmessung nach dem Wirkdruck-Messverfahren werden Differenzdruck-Messumformer verwendet. Ein Primärgerät (Drossel) reduziert die Querschnittsfläche der Rohrleitung, durch die das zu messende Prozessmedium strömt.

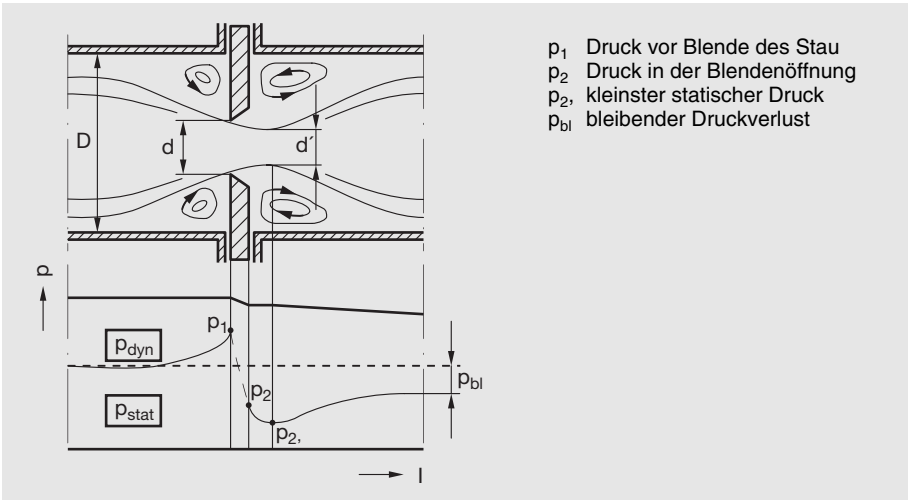
Die Drosselung bewirkt, dass die Geschwindigkeit des fließenden Mediums ansteigt. Deshalb hat das Medium unmittelbar vor der Drosselstelle eine niedrigere kinetische Energie (Geschwindigkeit) als unmittelbar dahinter.



**Bild 7-1:** Prinzip der Durchflussmessung nach dem Wirkdruck-Messverfahren

Die Zunahme der kinetischen Energie hinter der Drosselstelle bewirkt gleichzeitig eine Abnahme des statischen Drucks, entsprechend dem Energieerhaltungssatz von **Bernoulli**. Dieser besagt, 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.

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



**Bild 7-2:** Druckverlauf an einem Drosselgerät

Bild 7-2 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 dahinter. 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:

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

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

*C* Durchflusskoeffizient

*β* Durchmesser Verhältnis

*e* Expansionszahl (nur für kompressible Medien)

*d* Innendurchmesser der Blende

*Δp* Wirkdruck

*ρ1* Dichte des Messmediums vor der Blende bei Betriebstemperatur

*qm* Massedurchfluss

*qv* Volumendurchfluss

Der Durchflusskoeffizient C ist abhängig vom Durchmesser Verhältnis β, von der Reynoldschen 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 e gibt es Tabellen und Kurven. Die VDI/VDE-Richtlinien 2040 ergänzen die genannten Berechnungsunterlagen.

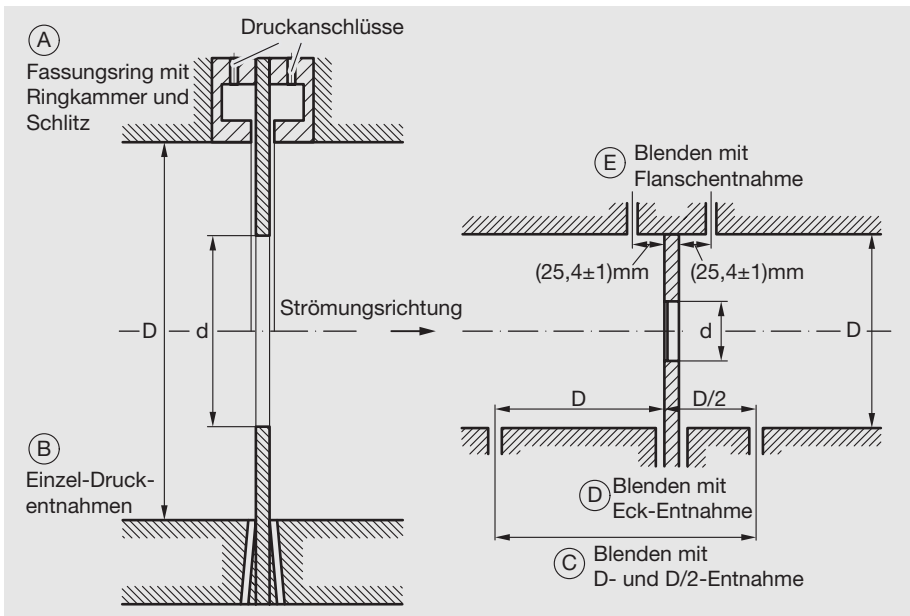
Die Bedeutung der einzelnen Parameter wird nachfolgend im Zusammenhang mit dem multivariablen Messumformer für die zustandskorrigierte Masse-Durchflussmessung ausführlich erklärt.

## 7.2 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.

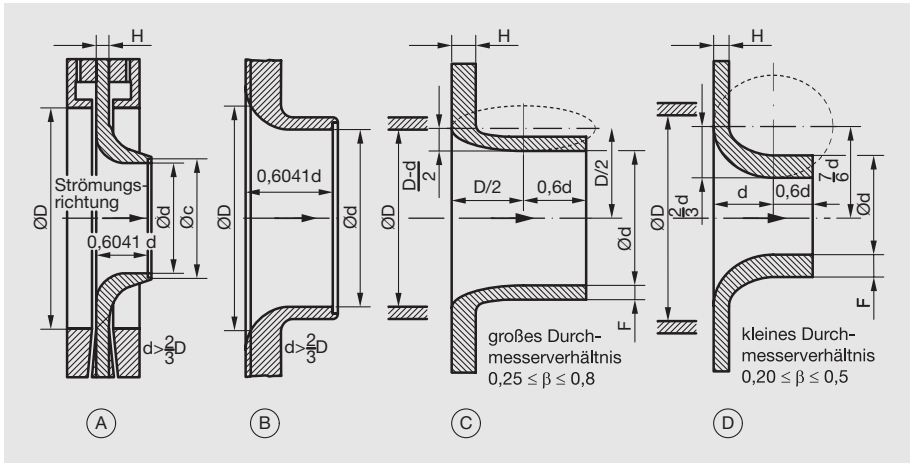
Blenden	Blende mit Eck-Druckentnahme Blende mit D- und D/2-Druckentnahme Blende mit Flansch-Druckentnahme
Düsen	ISA-1932-Düse Langradius-Düse
Venturi-Rohre	klassisches Venturi-Rohr Venturi-Düse



**Bild 7-3:** Blendenformen

Die preisgünstigste Version ist die Blende. Bild 7-3 zeigt die Eck-Druckentnahme (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).

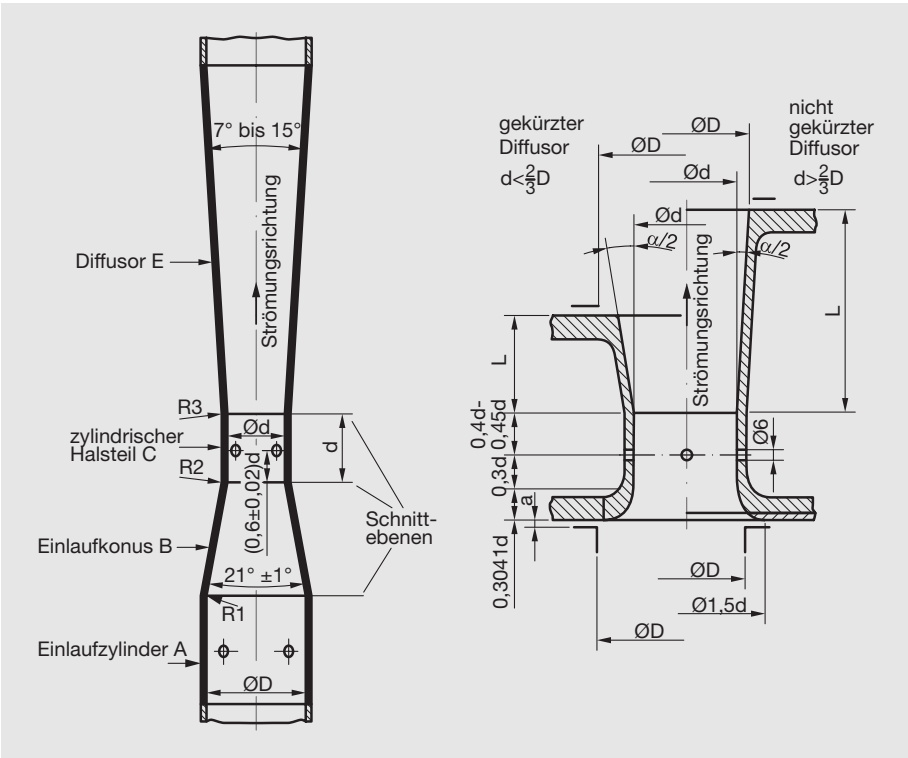
Düsen haben geringere Druckverluste, verlangen aber eine präzise Fertigung. Bild 7-4 (B) zeigt die ISA 1932 Düse und bei (A) deren Einbau mit Eck-Druckentnahme (unten) und mit Ringkammer (oben). Langradius-Düsen (C, D) gibt es für kleine und große Durchmesser. Einbau wie bei (A) gezeigt.



**Bild 7-4:** Düsenformen

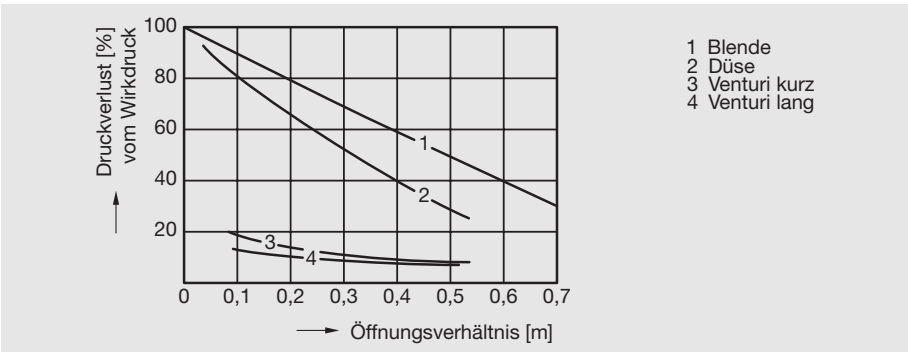
Venturi-Rohre und Venturi-Düsen zeichnen sich durch einen sehr kleinen Druckverlust aus. Beide sind auch in verkürzter Bauform verfügbar. Dass der Druckverlust bei der Beurteilung der verschiedenen Drosselgeräte eine wichtige Rolle spielt, lässt sich anhand des Diagramms (Bild 7-6) erklären.

Druckverlust bedeutet Energieverlust und damit höhere Pumpenleistung.



**Bild 7-5:** Klassisches Venturi-Rohr und Venturi-Düse

Vergleicht man die Spanne der Einsatzmöglichkeiten aus Tab. 7-1, 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 7-6:** 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. 7-1:** 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 zusammen mit dem Wirkdruck-Messumformer meistens eine Einheit. Und natürlich können die Tabellenwerte auch nach oben bis zu Nennweiten von 2000 und größer überschritten werden.

### 7.3 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. 7-2 gibt die Empfehlungen nach DIN EN ISO 5167 für die erforderlichen Rohrstrecken wieder.

	Blenden, Düsen, Venturi-Düsen				Klassisches Venturi-Rohr		
	Durchmesser Verhältnis $\beta$				Durchmesser Verhältnis $\beta$		
	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) <sup>1)</sup>
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
<sup>1)</sup> Derartige Störungen können auch nach 40 D nachwirken, daher die Angaben in Klammern.							

**Tab. 7-2:** 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.

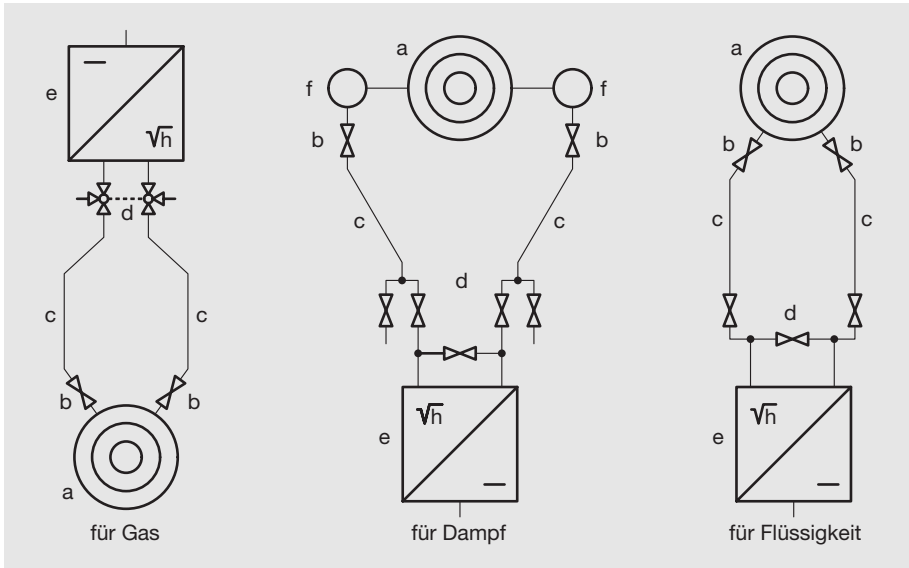
## 7.4 Messanordnungen

Die komplette Durchflussmessenrichtung besteht aus folgenden Teilen:

- a) Drosselgerät als Wirkdruckgeber
- b) Anschlussarmatur für das Drosselgerät mit Schutzeinrichtungen
- c) Wirkdruckleitung
- d) Anschlussarmatur für Wirkdruck
- e) Wirkdruck-Messumformer
- f) Kondensatgefäß
- g) Speisegerät für die 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 absperrt und vor einseitiger Druckaufschaltung schützen soll.



**Bild 7-7:** Wirkdruck-Messanordnungen

Wird die Wirkdruckmessung zur Gasmessung eingesetzt, so ist der Messumformer oberhalb anzuordnen, 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 Kondensatgefäß (f) entsteht.

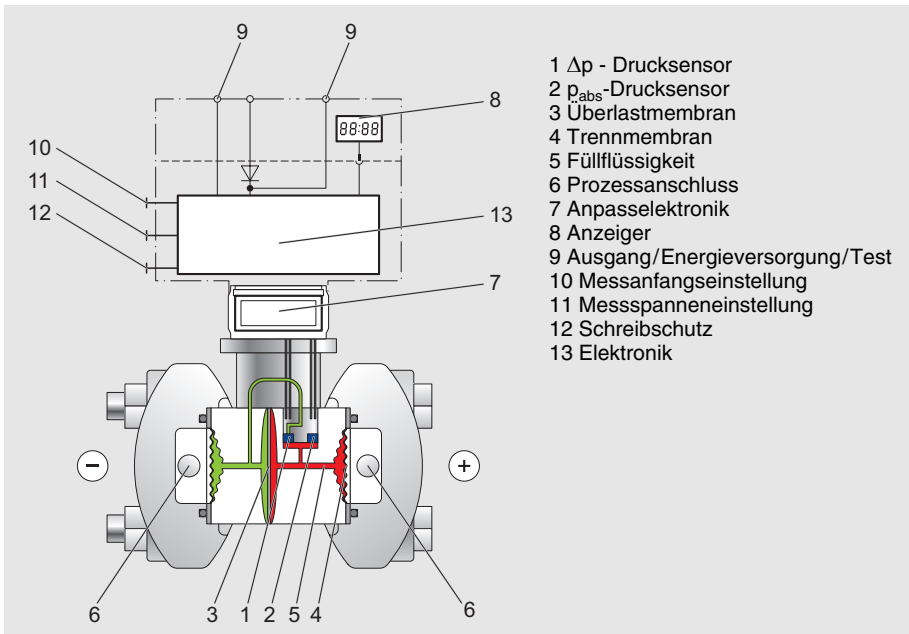
Es gibt eine Reihe von Messanordnungen, die auch außergewöhnliche Einsatzfälle berücksichtigen. So zum Beispiel verhindern Trenngefäße, dass aggressive Messmedien in den Messumformer gelangen. Die VDE/VDI-Richtlinie 3512 liefert die Anweisungen für derartige Sonderfälle.

## 7.5 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 und explosionsgeschützt.

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



**Bild 7-8:** Aufbau eines Differenzdruck-Messumformers

Der Messumformer 266MST ist modular aufgebaut und besteht aus der Messzelle mit integrierter Anpasselektronik 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 plusseitigen 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 ( $\Delta p$ )/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 umgewandelt.

Damit einseitige Überlastungen bis zum vollen Nenndruck nicht zu einer Schädigung der Messzelle 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 Einheit zur Verfügung, die aus zwei Tastern zur Einstellung von Messanfang und Messende sowie einem Schreibschutzschalter besteht. In Verbindung mit dem 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.

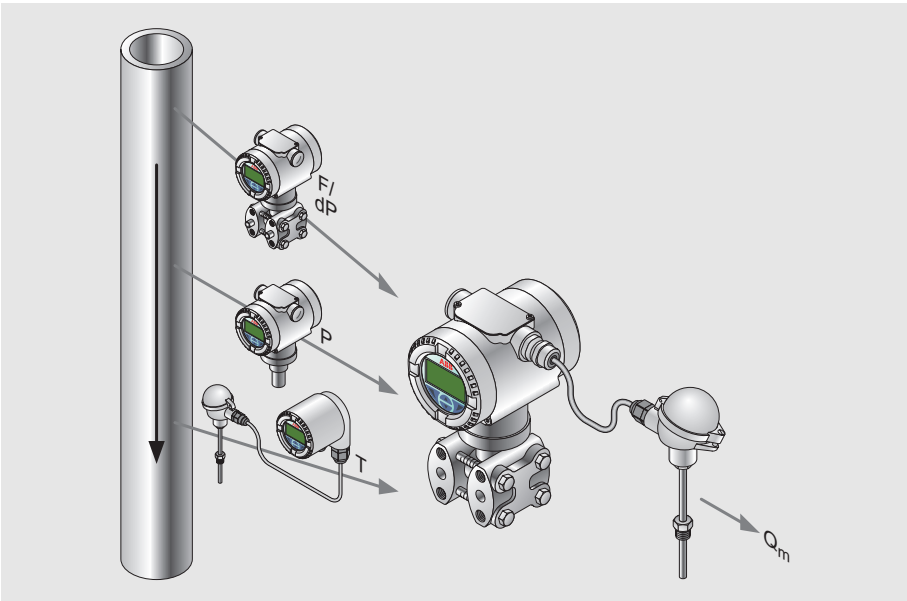


**Bild 7-9:** Differenzdruck-Messumformer 266MST von ABB

## 7.6 Zustandskorrektur

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 Rechengertes realisiert werden musste, stehen mit den multivariablen Messumformern 266CSH/266CST Geräte zur Verfügung, die alle Messgrößen direkt erfassen und überdies auch die rechnerische Zustandskorrektur in einem einzigen Gerät durchführen.



**Bild 7-10:** Multivariabler Messumformer 266CSH von ABB

Zur Differenzdruck- und Druckmessung wird die gleiche Messzelle verwendet, die bereits bei 266MST beschrieben wurde. Lediglich die Elektronik ist 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.

Der dynamische Massedurchfluss eines multivariablen Messumformers wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$Q_m \approx C \cdot E \cdot \varepsilon \cdot d^2 \cdot \sqrt{dp \cdot \rho}$$

*Q<sub>m</sub> Massedurchfluss*

*C Durchflusskoeffizient*

*E Vorgeswindigkeitsfaktor*

*ε Gas Expansionszahl*

*d Öffnungsdurchmesser des Wirkdruckgebers*

*dp Differenzdruck*

*ρ Dichte*

Dynamische Zustandskorrektur bedeutet, dass die Berechnung des Massedurchflusses nicht ausschließlich auf einer Neuberechnung der Dichte, abhängig von Druck und Temperatur, beruht. Es werden alle in der Formel angegebenen Parameter, die ebenfalls nicht konstant sind, mit ihrem für die jeweilige Betriebsbedingung richtigen Wert berücksichtigt.

Allen voran die Reynoldszahl, die unter anderem vom Durchfluss selbst abhängig ist, und deshalb kontinuierlich neu berechnet werden muss. Durch die dynamische Korrektur wird die Genauigkeit der Messung gegenüber anderen Methoden noch einmal deutlich verbessert.

Für die Durchflussberechnung werden folgende Standards zugrunde gelegt:

- AGA Nr. 3
- DIN EN ISO 5167

### **Durchflusskoeffizient C**

Der Durchflusskoeffizient ist definiert als realer Durchfluss, geteilt durch den theoretischen Durchfluss und korrigiert die theoretische Formel des Einflusses auf das Geschwindigkeitsprofil (Reynoldszahl) unter der Annahme, dass kein Energieverlust zwischen den Druckanschlüssen und an der Druckentnahmestelle stattfindet. Er ist abhängig vom Wirkdruckgeber, dem Durchmesser Verhältnis und der Reynoldszahl. Die Reynoldszahl wiederum ist abhängig von der Viskosität, Dichte, vom Durchfluss selbst und dem Rohrdurchmesser. Sie wird im Messumformer, abhängig von den genannten Größen, fortlaufend aktualisiert.

## Gas-Expansionszahl

Die Gas-Expansionszahl korrigiert die Dichteänderungen zwischen den Druckschlüssen aufgrund der Ausdehnung von kompressiblen Medien. Sie ist nicht anwendbar für Flüssigkeiten, die üblicherweise nicht kompressibel sind.

## Vorgeschwindigkeitsfaktor

Der Vorgeschwindigkeitsfaktor ist vom Durchmesser Verhältnis abhängig, wie nachfolgende Formel zeigt:

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

Das Durchmesser Verhältnis ist abhängig von dem Öffnungsdurchmesser des Wirkdruckgebers und dem Rohrdurchmesser, der wiederum von der Prozesstemperatur beeinflusst wird.

Der Werkstoff der Prozessleitung und des Wirkdruckgebers dehnt sich aus oder zieht sich bei Temperaturänderungen des Messmediums zusammen. Die Wärmeausdehnungs-Koeffizienten sind abhängig vom Werkstoff des Rohres und des Wirkdruckgebers und werden zur Berechnung der Durchmesseränderung verwendet. Das garantiert eine hohe Durchflussgenauigkeit bei niedrigen und hohen Temperaturen.

## Dichte des Messmediums

Die Dichte des Messmediums hat direkte Auswirkung auf die Durchflussberechnung. Der multivariable Messumformer kompensiert die Dichte aufgrund von Temperatur- und/oder Druckänderungen wie folgt:

- Gase als Funktion von p und T gemäß den Gasgesetzen. Die Berechnung der Kompressibilitätszahlen für Erdgas erfolgt gemäß dem amerikanischen Standard AGA No. 8.
- Überhitzter Dampf als Funktion von p und T, gemäß der Wasserdampf-Tafel.
- Sattdampf als Funktion von p gemäß der Wasserdampf-Tafel.
- Flüssigkeiten als Funktion von T.

Massedurchfluss-Berechnungen mit einem multivariablen Messumformer können für folgende Wirkdruckgeber konfiguriert werden:

- Blende Eck-Druckentnahme, ISO und ASME
- Blende Flansch-Druckentnahme, ISO und ASME
- Blende D- und D/2- Druckentnahme, ISO und ASME
- Blende Flansch-Druckentnahme, AGA3
- Blende 2,5D- und 8D- Druckentnahme
- Blende mit kleiner Öffnung, Flansch-Druckentnahme
- Blende mit kleiner Öffnung, Eck-Druckentnahme
- ISA 1932-Düse
- Langradius-Düse Wand-Druckentnahme, ISO und ASME
- Klassisches Venturi-Rohr, gussrauer Einlaufkonus, ISO und ASME
- Klassisches Venturi-Rohr, bearbeiteter Einlaufkonus, ISO und ASME
- Klassisches Venturi-Rohr, geschweißter Einlaufkonus, ISO und ASME
- Venturi-Düse, ISO
- Staudrucksonde
- Pitot-Rohr, ISO 3966
- V-Kegel
- Wedge-Element
- Düsenbrücke
- Dichte-Korrektur (unbekanntes Primär-Element).





## 8 Füllstandmessung mit Druck-Messumformern

Füllstandmessungen an flüssigkeitsgefüllten Behältern können mit Hilfe von Differenzdruck- oder Überdruck-Messumformern vorgenommen werden. Die Flüssigkeit im Behälter erzeugt einen der Füllhöhe proportionalen hydrostatischen Druck, den der angeschlossene Messumformer misst und in ein der Füllhöhe proportionales elektrisches Ausgangssignal umwandelt. Dazu ist es notwendig den Messumformer so am Behälter zu montieren, dass er den Druck auf der Höhe des minimalen zu erfassenden Füllstandes oder unterhalb dieses Punktes misst. Abhängig von der Art der Flüssigkeit im Behälter wird der Prozessanschluss des Messumformers festgelegt. Wenn die Prozessbedingungen es zulassen, kann der Messumformer über Wirkdruckleitungen an den Behälter angeschlossen werden, d. h. das Messmedium wird in den Messumformer eingeleitet.

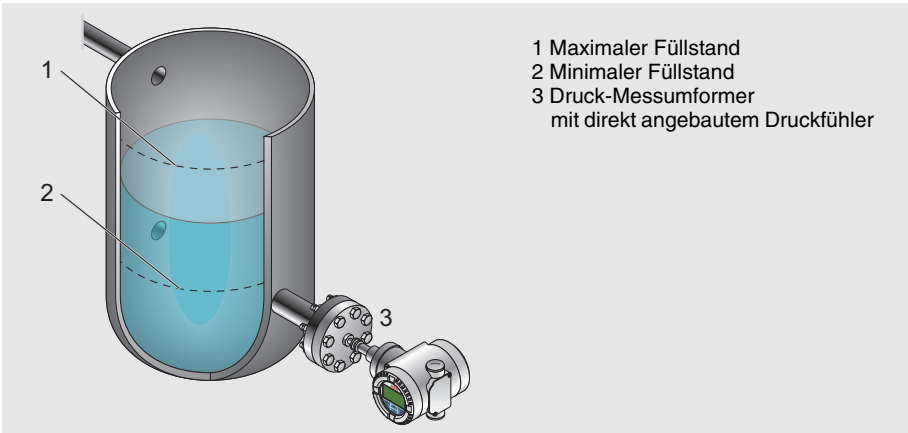
Bei hohen Prozesstemperaturen oder hochviskosen Medien werden sogenannte Druckfühler verwendet um zu verhindern, dass Messmedium in die Messkammern der Messzelle gelangt. Druckfühler trennen über eine vorgelagerte Metallmembran das Messmedium vom Messumformer und stellen häufig gleichzeitig einen Flansch zur einfachen Montage am Behälter zur Verfügung. Der Einsatz von Überdruck- oder Differenzdruck-Messumformern ist abhängig von der Behälterbauart (offen zur Atmosphäre oder geschlossen).

### 8.1 Messung am offenen Behälter

Die Bezeichnung offener Behälter bedeutet bei diesen Anwendungen, dass der Behälterinhalt eine Verbindung zur Atmosphäre hat, also nicht mit Druck beaufschlagt ist. Bei Anwendungen mit einem offenen Behälter wirkt sich jede Änderung des Luftdrucks auf den Druck der zu messenden Flüssigkeit innerhalb des Behälters aus.

Zur Messung können Differenzdruck-Messumformer oder Überdruck-Messumformer eingesetzt werden. Der Messumformer wird unten an den Behälter angeschlossen, beim Einsatz von Differenzdruck-Messumformern wird die Hochdruckseite verwendet und misst so den Druck im Behälter.

Die Referenz für diese Messung ist der Atmosphärendruck. Das ist bei Überdruck-Messumformern durch die Konstruktion sichergestellt. Bei Differenzdruck-Messumformern wird in diesem Fall die Niederdruckseite nicht an den Behälter angeschlossen, sondern bleibt gegenüber der Atmosphäre offen. So wird sichergestellt, dass der Messumformer die tatsächliche Höhe der Flüssigkeit im Behälter misst und zwar als Differenz von Behälterdruck und Atmosphärendruck.

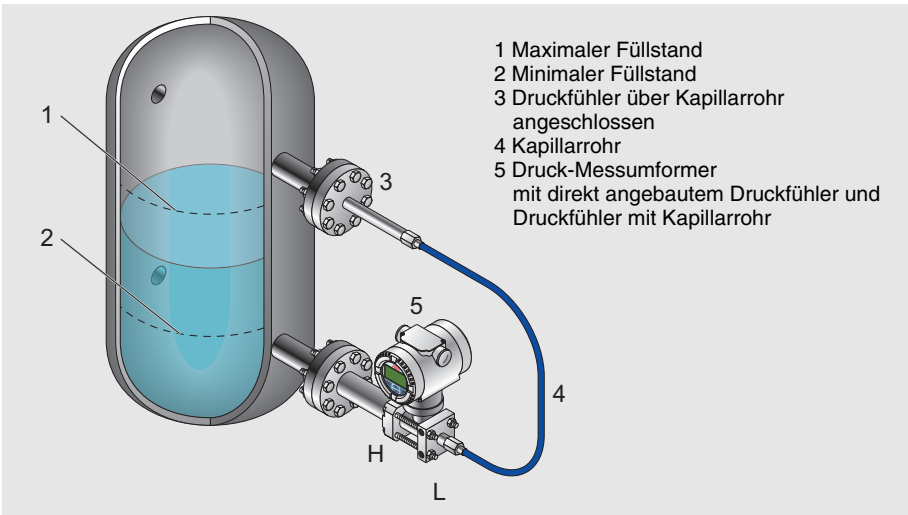


- 1 Maximaler Füllstand
- 2 Minimaler Füllstand
- 3 Druck-Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler

**Bild 8-1:** Füllstandmessung am offenen Behälter

## 8.2 Messung am geschlossenen Behälter

Bei dieser Anwendung hat der Behälter keine Verbindung zur Atmosphäre. Der Druck im Behälter kann dabei höher oder niedriger sein als der Atmosphärendruck. In diesem Fall muss zur Füllstandmessung ein Differenzdruck-Messumformer verwendet werden, der mit der Hochdruckseite am unteren Stutzen und mit der Niederdruckseite am oberen Stutzen des Behälters angeschlossen wird. Durch diese Anordnung wird erreicht, dass der am Messumformer anstehende Differenzdruck, unabhängig vom Behälterinnendruck, dem Füllstand proportional ist und vom Messumformer als elektrisches Signal ausgegeben werden kann.



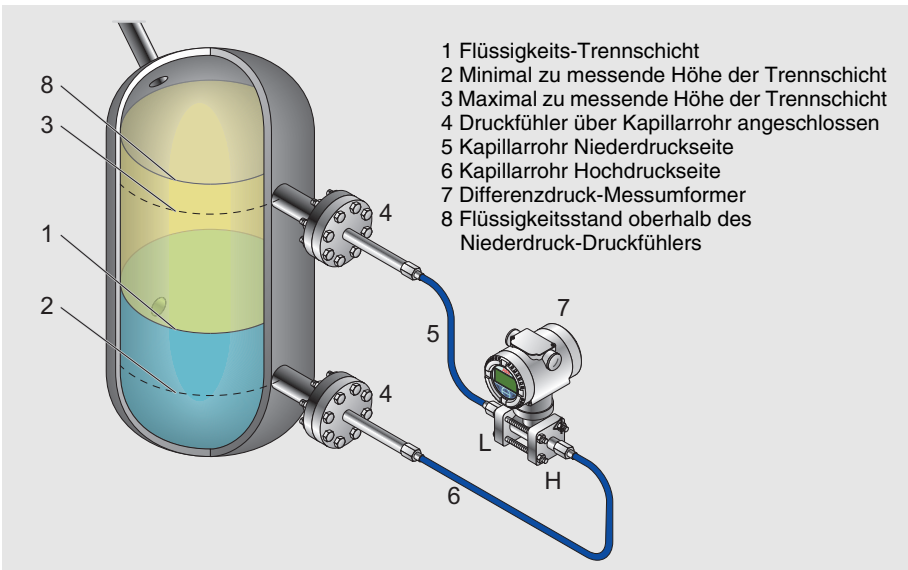
- 1 Maximaler Füllstand
- 2 Minimaler Füllstand
- 3 Druckfühler über Kapillarrohr angeschlossen
- 4 Kapillarrohr
- 5 Druck-Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler und Druckfühler mit Kapillarrohr

**Bild 8-2:** Füllstandmessung am geschlossenen Behälter

### 8.3 Trennschichtmessung

Befinden sich in einem Behälter zwei Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Dichte, z. B. Wasser und Öl, entsteht zwischen diesen Flüssigkeiten eine sogenannte Trennschicht. Die Lage der Trennschicht im Behälter gibt Auskunft über die Menge mindestens der unteren, schwereren Flüssigkeit. Dabei handelt es sich um eine spezielle Form der Füllstandmessung, die mit einem Differenzdruck-Messumformer realisiert werden kann, der an zwei Stutzen des Behälters angeschlossen wird. Der Abstand der Stutzen ist die maximale Höhe, über die die Trennschichtänderung gemessen werden kann.

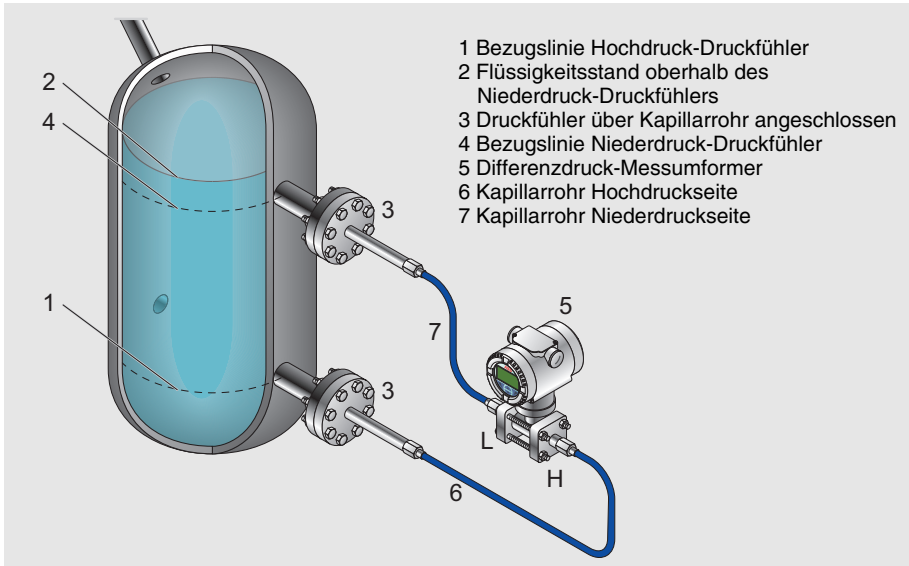
Es muss sichergestellt sein, dass der obere Flüssigkeitsspiegel immer oberhalb des oberen Stutzens liegt. Wenn jetzt die Trennschicht durch Änderung der Menge einer Flüssigkeit nach oben oder unten verschoben wird, ändert sich die Dichte zwischen den beiden Entnahmestutzen und damit der hydrostatische Druck, der auf den Messumformer wirkt. Diese Änderung ist direkt proportional zur Lage der Trennschicht.



**Bild 8-3:** Trennschichtmessung mit Differenzdruck-Messumformer

## 8.4 Dichtemessung

Nach dem Prinzip der Trennschichtmessung lässt sich auch eine Dichtemessung durchführen. Voraussetzung ist, dass die Flüssigkeit im Behälter immer bis über den oberen Entnahmestutzen reicht. Hier wird ebenfalls ein Differenzdruck-Messumformer mit zwei Anschlüssen am Behälter verwendet. Eine Dichteänderung der Flüssigkeit führt dann zu einer Änderung des hydrostatischen Drucks, der auf den Messumformer wirkt. Diese Druckänderung ist der Dichteänderung proportional.

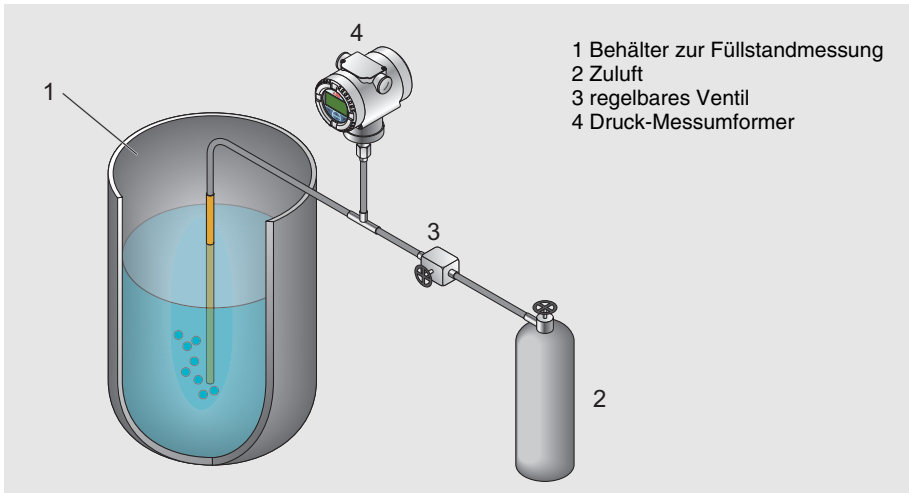


**Bild 8-4:** Dichtemessung mit Differenzdruck-Messumformer

## 8.5 Spezielle Verfahren der Füllstandmessung

### 8.5.1 Einperlverfahren

Wenn eine Montage im unteren äußeren Bereich des Behälters nicht möglich ist, oder der Messumformer bzw. seine Druckfühler nicht direkt mit dem Messmedium in Berührung kommen sollen, kann zur Messung alternativ das Einperlverfahren als hydrostatisches Messverfahren verwendet werden.

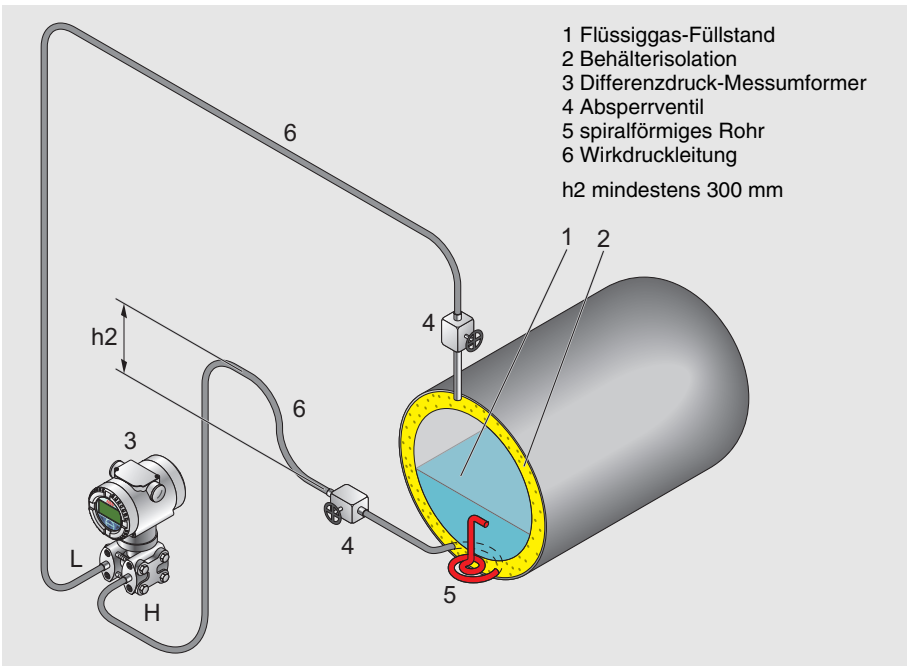


**Bild 8-5:** Einperlverfahren am offenen Behälter

Dazu wird ein Rohr von oben in den Behälter geführt, das mindestens bis zum minimal zu messenden Füllstand reicht. Über dieses Rohr wird ein Gas, vorzugsweise Luft, in den Behälter geblasen. Ein Regler stellt sicher, dass der Luftdurchsatz konstant ist. Mit steigendem Füllstand steigt auch der Druck am Austritt des Rohres proportional an. Der Messumformer, der diesen Druck misst, liefert deshalb ein füllstandproportionales Signal. Dieses Verfahren kann nur bei offenen Behältern angewendet werden, da bei geschlossenen Behältern der Druck über der Flüssigkeit nicht eliminiert werden kann.

## 8.5.2 Messung am Flüssiggasbehälter

Flüssiges Gas darf in der Regel in diesem Zustand nicht in einen Druck-Messumformer eingeleitet werden, da die Gastemperatur weit unter der zulässigen Prozesstemperatur für diese Geräte liegt. Deshalb wird der Messumformer über eine Rohrleitung an den Flüssiggasbehälter angeschlossen. Deren Länge ist so bemessen, dass das Gas durch die Umgebungstemperatur auf eine für den Messumformer zulässige Temperatur erwärmt wird. Aus Platzgründen kann dafür auch ein spiralförmiges Rohr verwendet werden. Der Rohrdurchmesser dieser Spirale beträgt ca. 6 mm, die Länge ca. 1,2 bis 1,5 m. Sie wird im äußeren Drittel der Isolation eingebettet und waagrecht angeordnet. Das in den Tank führende Rohrstück ist im Tank kurz abgewinkelt. Es darf kein U-Bogen verwendet werden.



**Bild 8-6:** Messanordnung am Flüssiggasbehälter

Da der Flüssiggasbehälter unter Druck steht, muss die Messung mit einem Differenzdruck-Messumformer durchgeführt werden, dessen Niederdruckseite an der Oberseite des Tanks in der Gasphase angeschlossen wird.

## 8.6 Berechnung des Messbereichs

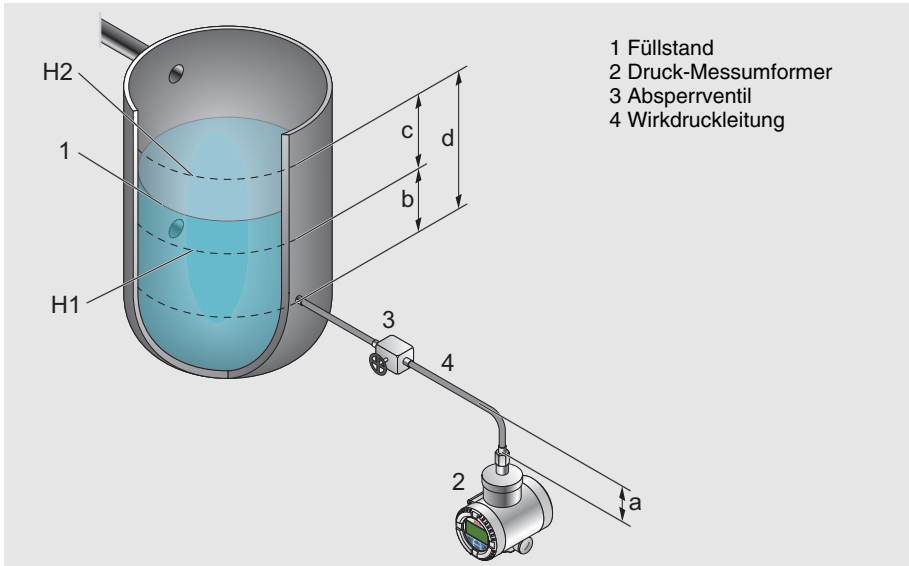
Um den Messbereich für die Füllstandmessung auslegen zu können und den Messumformer richtig justieren zu können, muss der hydrostatische Druck am unteren Behälterstutzen für den minimalen und maximalen Füllstand berechnet werden. Hierfür werden die Abmessungen der Montageanordnung, die Dichte der Flüssigkeit und gegebenenfalls die Gasdichte oberhalb der Flüssigkeit im Behälter benötigt.

Abhängig davon, ob es sich um einen offenen oder einen geschlossenen Behälter handelt, muss man von verschiedenen Anwendungsfällen ausgehen. Die dafür notwendigen Formeln zur Berechnung von Messanfang und Messende werden im Folgenden angegeben. In den meisten Fällen werden Software-Tools bereitgestellt, die die eigentliche Berechnung nach Eingabe der Abmessungen und Stoffwerte der Messstelle unterstützend durchführen.

## 8.6.1 Füllstandmessung am offenen Behälter

### Anwendungsfall 1

Der Messumformer für Überdruck oder Differenzdruck ist über Wirkdruckleitungen an den Behälter angeschlossen, wodurch sich darin die gleiche Flüssigkeit wie im Behälter selbst befindet. Die Dichte der Flüssigkeit im Behälter und in der Wirkdruckleitung kann demzufolge als gleich vorausgesetzt werden.



**Bild 8-7:** Anwendungsfall 1 bei offenem Behälter

$H_1$  (m) unterer zu messender Füllstand

$H_2$  (m) oberer zu messender Füllstand

$a$  (m) Abstand vom Behälterstutzen bis zum Messumformer

$b$  (m) Abstand vom Behälterstutzen bis zum unteren zu messenden Füllstand

$c$  (m) Abstand vom unteren bis zum oberen zu messenden Füllstand

$d$  (m) Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zum oberen zu messenden Füllstand

$\rho_{FL}$  ( $\text{kg/m}^3$ ) Dichte der Behälterflüssigkeit

$g$  ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) Fallbeschleunigung

Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel:

Messbereichsanfang 0 %:  $P_{H_1} = (a + b) \cdot \rho_{FL} \cdot g$

Messbereichsende 100 %:  $P_{H_2} = (a + b + c) \cdot \rho_{FL} \cdot g$

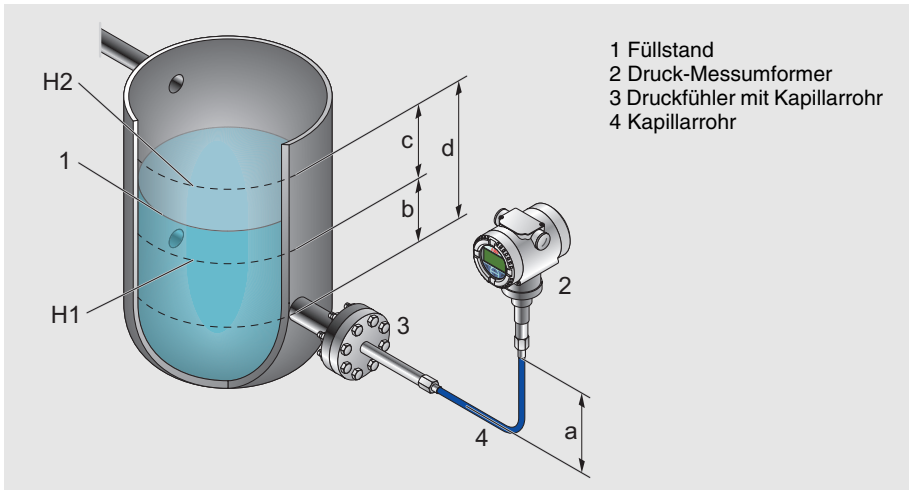
Je nach Montage des Messumformers kann der Abstand  $a$ :

- 0 sein, wenn der Messumformer auf Höhe des Stutzens montiert ist.
- Negativ sein, wenn der Messumformer oberhalb des Stutzens montiert ist.
- Positiv sein, wenn der Messumformer, wie in der Skizze, unterhalb des Stutzens montiert ist.



## Anwendungsfall 2

Der Messumformer für Überdruck oder Differenzdruck ist über Druckfühler an den Behälter angeschlossen, das heißt, in der Verbindungsleitung zwischen Behälter und Messumformer, dem Kapillarrohr des Druckfühlers, befindet sich eine andere Flüssigkeit als im Behälter. Die Dichte der Flüssigkeiten im Behälter und im Kapillarrohr ist demzufolge unterschiedlich.



**Bild 8-8:** Anwendungsfall 2 bei offenem Behälter

$H1$ (m)	<i>unterer zu messender Füllstand</i>
$H2$ (m)	<i>oberer zu messender Füllstand</i>
$a$ (m)	<i>Abstand vom Behälterstutzen bis zum Messumformer</i>
$b$ (m)	<i>Abstand vom Behälterstutzen bis zum unteren zu messenden Füllstand</i>
$c$ (m)	<i>Abstand vom unteren bis zum oberen zu messenden Füllstand</i>
$d$ (m)	<i>Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zum oberen zu messenden Füllstand</i>
$\rho_{FL}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Dichte der Behälterflüssigkeit</i>
$\rho_{Ka}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Dichte der Flüssigkeit im Kapillarrohr des Druckfühlers</i>
$g$ (9,81 m/s <sup>2</sup> )	<i>Fallbeschleunigung</i>

Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel:

Messbereichsanfang 0 %:  $P_{H1} = (a \cdot \rho_{Ka} + b \cdot \rho_{FL}) \cdot g$

Messbereichsende 100 %:  $P_{H2} = a \cdot \rho_{Ka} \cdot g + (b + c) \cdot \rho_{FL} \cdot g$

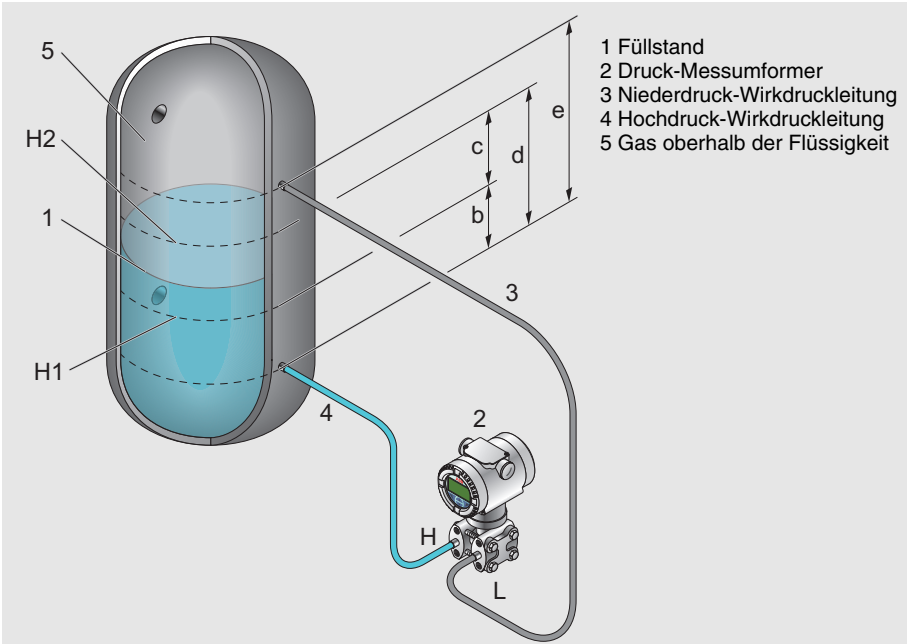
Je nach Montage des Messumformers kann der Abstand  $a$ :

- 0 sein, wenn der Messumformer auf Höhe des Stutzens montiert ist.
- Negativ sein, wenn der Messumformer, wie auf der Skizze, oberhalb des Stutzens montiert ist.
- Positiv sein, wenn der Messumformer unterhalb des Stutzens montiert ist.

## 8.6.2 Füllstandmessung am geschlossenen Behälter

### Anwendungsfall 1

Der Messumformer für Differenzdruck ist über Wirkdruckleitungen an den Behälter angeschlossen. In der Leitung zwischen unterem Behälterstutzen und Hochdruckseite des Messumformers befindet sich dieselbe Flüssigkeit wie im Behälter selbst. Die Dichte der Flüssigkeit im Behälter und in der Wirkdruckleitung kann somit als gleich vorausgesetzt werden. In der Wirkdruckleitung zwischen oberem Behälterstutzen und Niederdruckseite des Messumformers befindet sich Gas.



**Bild 8-9:** Anwendungsfall 1 bei geschlossenem Behälter

$H_1$  (m) unterer zu messender Füllstand

$H_2$  (m) oberer zu messender Füllstand

$b$  (m) Abstand vom Behälterstutzen bis zum unteren zu messenden Füllstand

$c$  (m) Abstand vom unteren zum oberen zu messenden Füllstand

$d$  (m) Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zum oberen zu messenden Füllstand

$e$  (m) Abstand vom unteren bis zum oberen Behälterstutzen

$\rho_{FL}$  (kg/m<sup>3</sup>) Dichte der Flüssigkeit im Behälter und in der Hochdruck-Wirkdruckleitung

$\rho_G$  (kg/m<sup>3</sup>) Dichte des Gases oberhalb der Flüssigkeit und in der Niederdruck-Wirkdruckleitung

$g$  (9,81 m/s<sup>2</sup>) Fallbeschleunigung

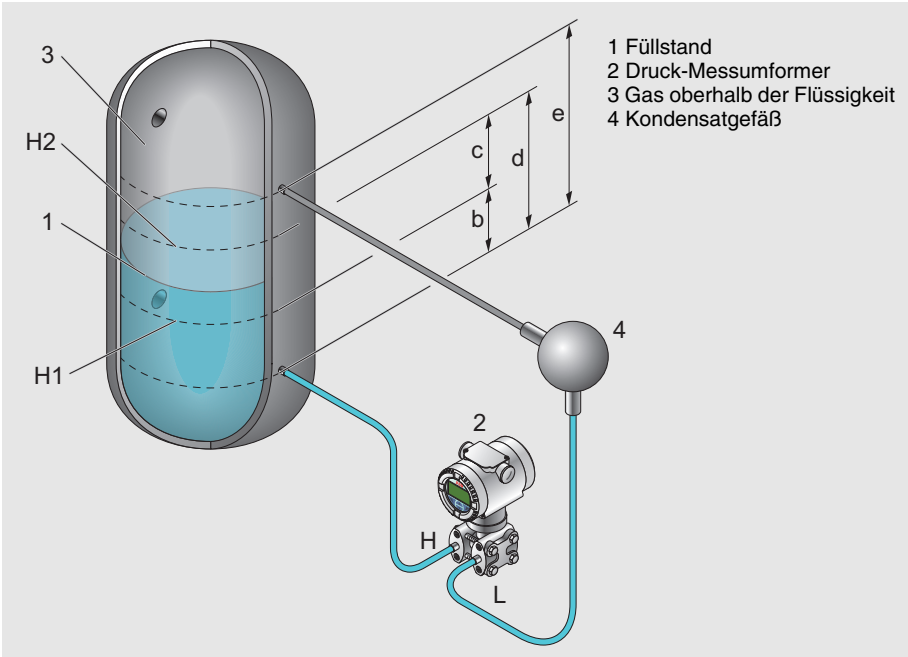
Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel, wenn der Messumformer auf der Höhe des unteren Behälterstutzens montiert ist:

Messbereichsanfang 0 %:  $P_{H_1} = (b \cdot \rho_{FL} + (e - b) \cdot \rho_G - e \cdot \rho_G) \cdot g$

Messbereichsende 100 %:  $P_{H_2} = (d \cdot \rho_{FL} + (e - b) \cdot \rho_G - e \cdot \rho_G) \cdot g$

## Anwendungsfall 2

Der Messumformer für Differenzdruck ist über Wirkdruckleitungen an den Behälter angeschlossen. Druck und Temperatur entsprechen allerdings den Sattdampfbedingungen der zu messenden Flüssigkeit. Deshalb wird für den Anschluss des Messumformers ein Kondensatgefäß vorgesehen. In der Leitung zwischen Kondensatgefäß und Messumformer befindet sich Kondensat. Die Dichte des Kondensats ist unterschiedlich zu der Dichte der Flüssigkeit im Behälter.



**Bild 8-10:** Anwendungsfall 2 bei geschlossenem Behälter

$H1$ (m)	unterer zu messender Füllstand
$H2$ (m)	oberer zu messender Füllstand
$b$ (m)	Abstand vom Behälterstutzen bis zum unteren zu messenden Füllstand
$c$ (m)	Abstand vom unteren zum oberen zu messenden Füllstand
$d$ (m)	Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zum oberen zu messenden Füllstand
$e$ (m)	Abstand vom unteren bis zum oberen Behälterstutzen
$\rho_{FL}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dichte der Flüssigkeit im Behälter
$\rho_G$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dichte des Gases oberhalb der Flüssigkeit
$\rho_{KO}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dichte des Kondensats in der Ausgleichsleitung zur Niederdruckseite des Messumformers
$g$ (9,81 m/s <sup>2</sup> )	Fallbeschleunigung

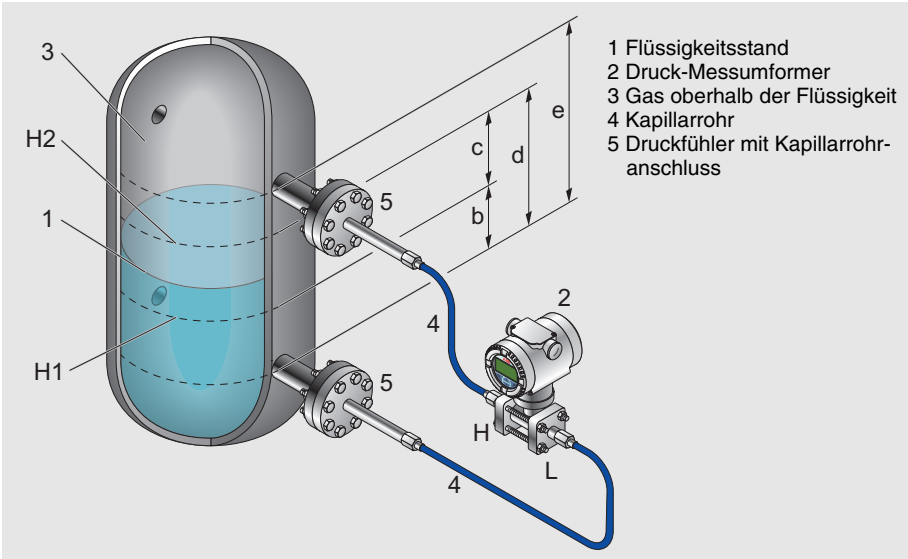
Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel:

Messbereichsanfang 0 %:  $P_{H1} = (b \cdot \rho_{FL} + (e - b) \cdot \rho_G - e \cdot \rho_{KO}) \cdot g$

Messbereichsende 100 %:  $P_{H2} = (d \cdot \rho_{FL} + (e - d) \cdot \rho_G - e \cdot \rho_{KO}) \cdot g$

### Anwendungsfall 3

Der Messumformer für Differenzdruck ist über Druckfühler an den Behälter angeschlossen. Dabei spielt es für die Auslegung des Messbereichs keine Rolle, ob der Anschluss auf der Hochdruckseite des Messumformers mit direkt angebautem Druckfühler oder mit Druckfühler mit Kapillarrohr erfolgt. In den Leitungen zwischen Behälter und Messumformer befindet sich die Druckfühler-Füllflüssigkeit. Deren Dichte ist unterschiedlich zu der Dichte der Flüssigkeit im Behälter. Sie kann den Datenblättern des Messumformerherstellers entnommen werden.



**Bild 8-11:** Anwendungsfall 3 bei geschlossenem Behälter

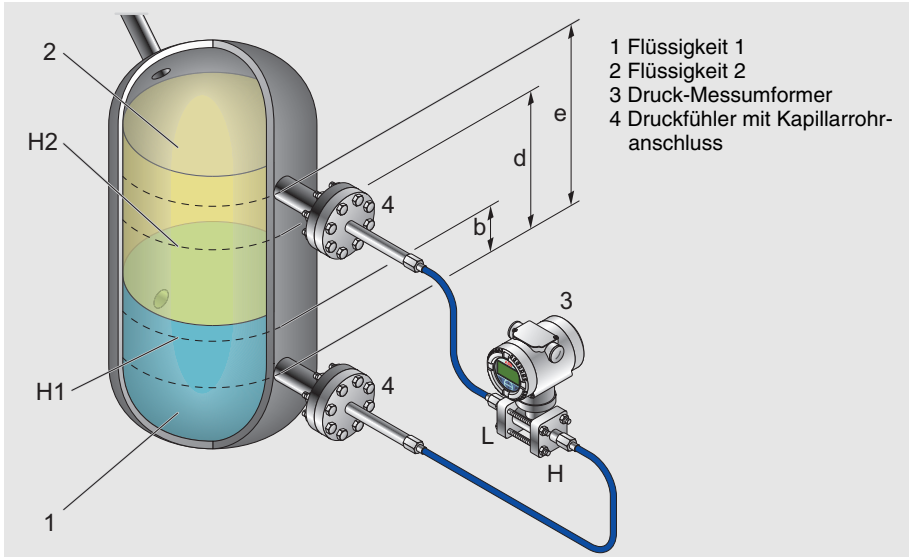
- $H_1$  (m) unterer zu messender Füllstand  
 $H_2$  (m) oberer zu messender Füllstand  
 $b$  (m) Abstand vom Behälterstutzen bis zum unteren zu messenden Füllstand  
 $c$  (m) Abstand vom unteren bis zum oberen zu messenden Füllstand  
 $d$  (m) Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zum oberen zu messenden Füllstand  
 $e$  (m) Abstand vom unteren bis zum oberen Behälterstutzen  
 $\rho_{FL}$  (kg/m<sup>3</sup>) Dichte der Flüssigkeit im Behälter  
 $\rho_G$  (kg/m<sup>3</sup>) Dichte des Gases oberhalb der Flüssigkeit  
 $\rho_{Ka}$  (kg/m<sup>3</sup>) Dichte der Flüssigkeit im Kapillarrohr des Druckfühlers  
 $g$  (9,81 m/s<sup>2</sup>) Fallbeschleunigung

Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel:

Messbereichsanfang 0 %:  $P_{H_1} = (b \cdot \rho_{FL} + (e - b) \cdot \rho_G - e \cdot \rho_{Ka}) \cdot g$   
 Messbereichsende 100 %:  $P_{H_2} = (d \cdot \rho_{FL} + (e - d) \cdot \rho_G - e \cdot \rho_{Ka}) \cdot g$

### 8.6.3 Trennschichtmessung

Der Differenzdruck-Messumformer ist über Druckfühler an den Behälter angeschlossen. Dabei spielt es für die Auslegung des Messbereichs keine Rolle, ob der Anschluss auf der Hochdruckseite des Messumformers mit direkt angebautem Druckfühler oder mit Druckfühler mit Kapillarrohr erfolgt. In den Leitungen zwischen Behälter und Messumformer befindet sich die Druckfühler-Füllflüssigkeit. Deren Dichte ist unterschiedlich zu der Dichte der Flüssigkeit im Behälter. Sie kann den Datenblättern des Messumformerherstellers entnommen werden.



**Bild 8-12:** Trennschichtmessung

- $H_1$  (m)      untere zu messende Höhe der Trennschicht  
 $H_2$  (m)      obere zu messende Höhe der Trennschicht  
 $b$  (m)        Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zur unteren zu messenden Trennschicht  
 $d$  (m)        Abstand vom unteren Behälterstutzen bis zur oberen zu messenden Trennschicht  
 $e$  (m)        Abstand vom unteren bis zum oberen Behälterstutzen  
 $\rho_1$  (kg/m<sup>3</sup>)    Dichte der schwereren Flüssigkeit im Behälter  
 $\rho_2$  (kg/m<sup>3</sup>)    Dichte der leichteren Flüssigkeit im Behälter  
 $\rho_{Ka}$  (kg/m<sup>3</sup>)    Dichte der Flüssigkeit im Kapillarrohr des Druckfühlers  
 $g$  (9,81 m/s<sup>2</sup>)    Fallbeschleunigung

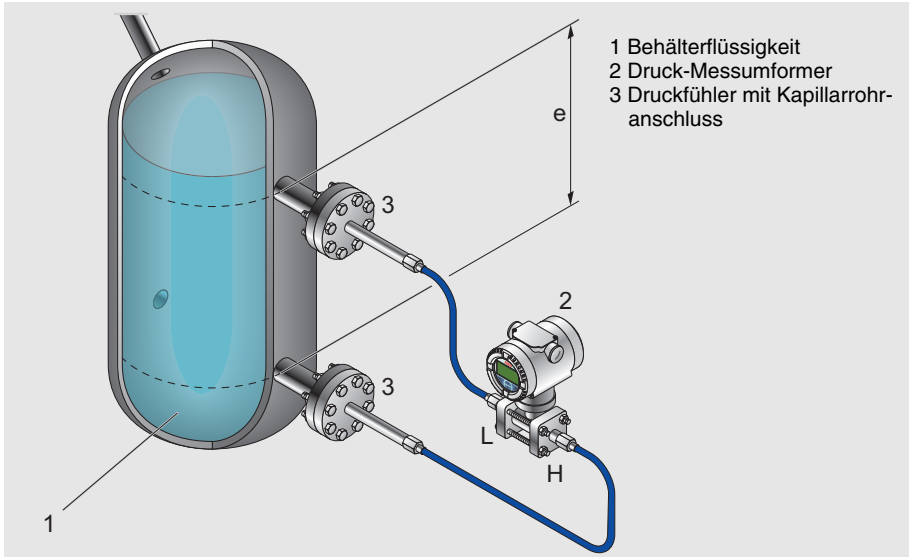
Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel:

Messbereichsanfang 0 %:       $P_{H_1} = (b \cdot \rho_1 + (e - b) \cdot \rho_2 - e \cdot \rho_{Ka}) \cdot g$

Messbereichsende 100 %:       $P_{H_2} = (d \cdot \rho_1 + (e - d) \cdot \rho_2 - e \cdot \rho_{Ka}) \cdot g$

## 8.6.4 Dichtemessung

Der Messumformer für Differenzdruck ist über Druckfühler an den Behälter angeschlossen. Dabei spielt es für die Auslegung des Messbereichs keine Rolle, ob der Anschluss auf der Hochdruckseite des Messumformers mit direkt angebautem Druckfühler oder mit Druckfühler mit Kapillarrohr erfolgt. In den Leitungen zwischen Behälter und Messumformer befindet sich die Druckfühler-Füllflüssigkeit. Deren Dichte ist unterschiedlich zu der Dichte der Flüssigkeit im Behälter. Sie kann den Datenblättern des Messumformerherstellers entnommen werden.



**Bild 8-13:** Dichtemessung

$P_{H1}$	Druck Messbereichsanfang (4 mA)
$P_{H2}$	Druck Messbereichsende (20 mA)
$e$ (m)	Abstand vom unteren bis zum oberen Behälterstutzen
$\rho_{\min}$ (kg/m <sup>3</sup> )	minimale Dichte der Flüssigkeit im Behälter
$\rho_{\max}$ (kg/m <sup>3</sup> )	maximale Dichte der Flüssigkeit im Behälter
$\rho_{Ka}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dichte der Flüssigkeit im Kapillarrohr des Druckfühlers
$g$ (9,81 m/s <sup>2</sup> )	Fallbeschleunigung

Die Berechnung des einzustellenden Messbereichs erfolgt nach folgender Formel:

$$\begin{aligned} \text{Messbereichsanfang } 0 \%: & \quad P_{H1} = (e \cdot \rho_{\min} - e \cdot \rho_{Ka}) \cdot g \\ \text{Messbereichsende } 100 \%: & \quad P_{H2} = (e \cdot \rho_{\max} - e \cdot \rho_{Ka}) \cdot g \end{aligned}$$

## 8.6.5 Volumenmessung

Ist der Füllstand eines Behälterinhaltes bestimmt, kann man bei bekannter Behälterform das Volumen des Inhaltes berechnen. Wenn es sich um einen senkrecht stehenden zylindrischen Behälter handelt, ist das Volumen dem gemessenen Füllstand proportional. Eine Umrechnung für eine prozentuale Anzeige des Volumens ist nicht erforderlich. Für die Anzeige in physikalischen Einheiten muss mit einem festen Faktor multipliziert werden, damit das Ergebnis richtig angezeigt wird. Das lässt sich fast immer durch entsprechende Konfiguration bei digitalen Messumformern realisieren.

Handelt es sich bei dem Behälter allerdings um einen liegenden Zylinder oder um einen kugelförmigen Behälter, reicht einfache Konfiguration nicht mehr aus, um ein dem Volumen proportionales Ausgangssignal zu erzeugen. Der Messumformer muss in der Lage sein aus dem gemessenen Füllstand, entsprechend der Behälterform, das richtige Volumen zu berechnen.

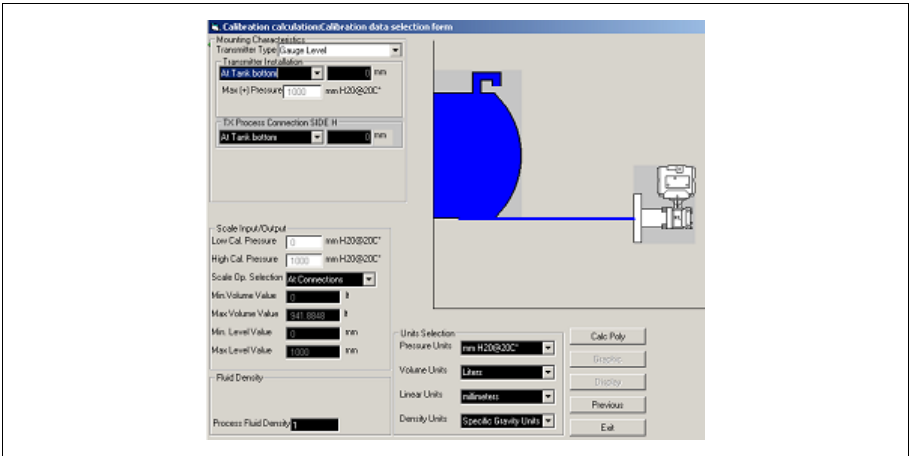
Dazu gibt es verschiedene Lösungsansätze. Zum Teil werden Rechenalgorithmen verwendet, um das Volumen zu bestimmen. Andere Geräte verwenden programmierbare Kennlinien, die die Möglichkeit bieten über eine gespeicherte Kurvenform die Abhängigkeit zwischen Füllstand und Volumen darzustellen. In allen Fällen muss aber die zur Volumenbestimmung verwendete Funktion vom Anwender veränderbar sein, damit die Vielzahl der in der Praxis vorkommenden Behälterformen tatsächlich abgedeckt werden kann.

Das Beispiel eines Software-Tools von ABB zeigt die automatische Berechnung des Behälter-Füllvolumens durch Übertragung der Koeffizienten eines polynomischen Algorithmus. Durch diese Diagrammstreifen-Tabellenfunktion ist eine komfortable Konfiguration von Druck-Messumformern für diese Art der Anwendung sichergestellt.

The screenshot shows the 'Tank Master Software: Input from Shape form' interface. It includes a 'Geometric Tank Selection' section with radio buttons for various tank types, where 'Cylinder Dished Heats' is selected. Below this is a 'Tank Input' section for 'Cylinder, Dished Heats' with input fields for 'Total Volume' (541.6005), 'Internal Diameter' (1000), 'Cylinder Length' (1000), and 'Max Tank Length' (1300). On the right, a 'Level-Volume Table' is displayed with columns for 'Table', 'millimeters', and 'Liters'. The table contains 30 rows of data.

Table	millimeters	Liters
1	0	0
2	10	1.318939
3	20	3.778977
4	30	6.987229
5	40	10.81172
6	50	15.17077
7	60	20.01046
8	70	25.25096
9	80	30.98115
10	90	37.05449
11	100	43.40252
12	110	50.07763
13	120	57.06295
14	130	64.30387
15	140	72.52464
16	150	80.53214
17	160	88.91444
18	170	97.36111
19	180	106.161
20	190	115.2044
21	200	124.4814
22	210	133.8628
23	220	143.6567
24	230	153.1229
25	240	163.7442
26	250	174.5549
27	260	184.5467
28	270	195.2116
29	280	206.0416
30	290	217.0007

Bild 8-14: Auswahl und Dimensionierung der Behälterform über Software-Tool



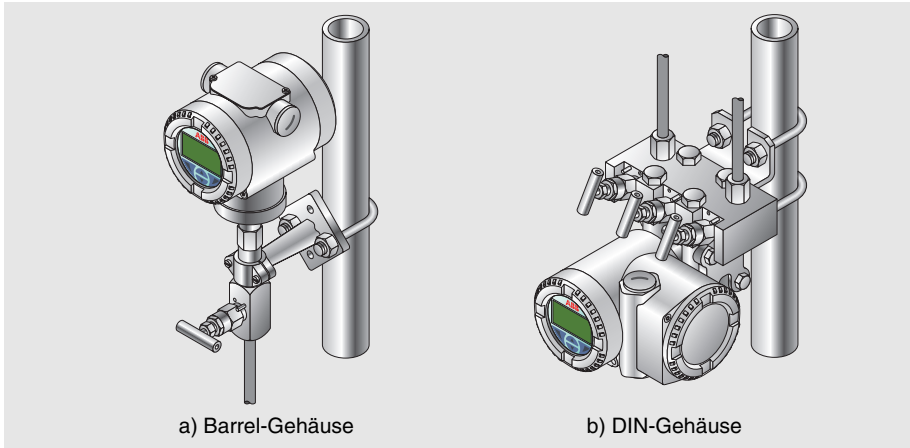
**Bild 8-15:** Detaillierte Konfiguration der Gerätekalibrierung über Software-Tool



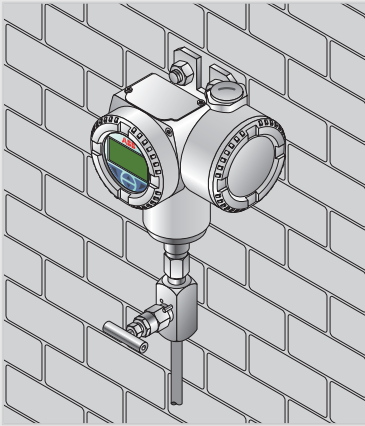
# 9 Installation von Druck-Messumformern

## 9.1 Montagearten

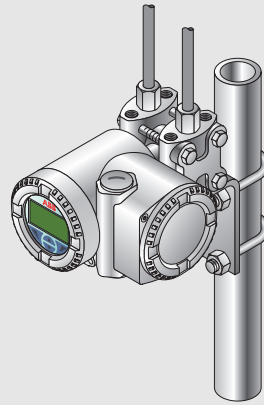
Messumformer werden üblicherweise über Rohre oder Schläuche und Absperrarmaturen mit dem Prozess verbunden. Dabei kann der Messumformer direkt an eine entsprechend befestigte Armatur angeschraubt werden. Alternativ wird der Messumformer mit Montagewinkeln an Wänden, Rohren oder Gestellen befestigt. Die Verbindung zur Armatur erfolgt dann über Verrohrung. Die direkte Montage an eine Armatur bietet die Möglichkeit Leitungen und Armatur fest zu montieren und die Messumformer zu Wartungszwecken leicht austauschbar zu haben.



**Bild 9-1:** Direkte Montage des Messumformers an der Armatur

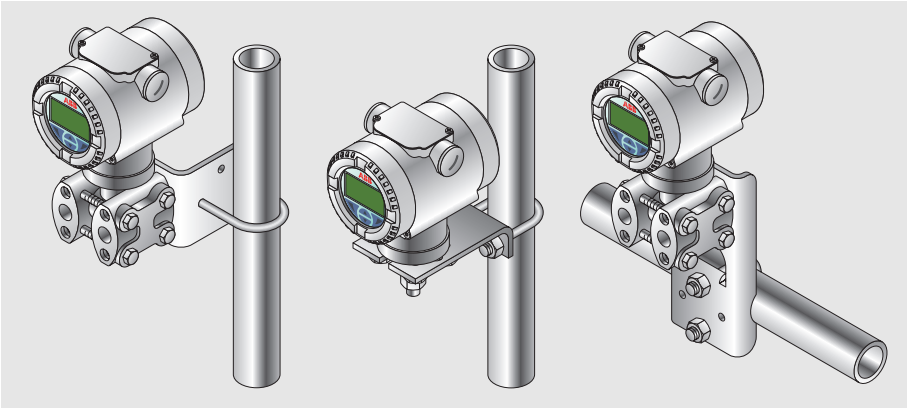


a) Wandmontage



b) Rohrmontage

**Bild 9-2:** Wand- und Rohrmontage des Messumformers mit Befestigungswinkeln



**Bild 9-3:** Rohrmontage von Messumformern im Barrel-Gehäuse mit Befestigungswinkeln

## 9.2 Armaturen

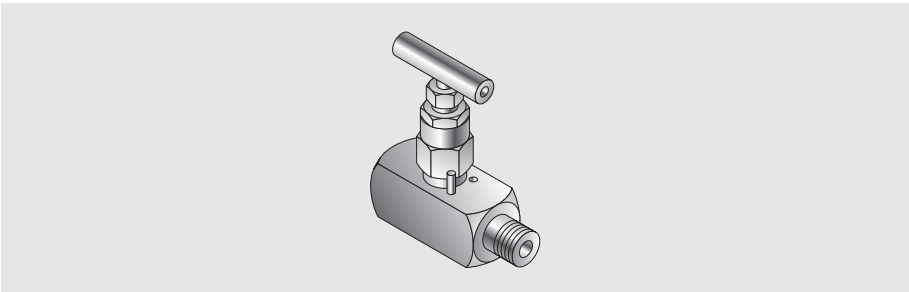
Zum betriebssicheren und wartungsfreundlichen Aufbau einer Druck-Messstelle werden die Druck-Messumformer über Ventile, Ventilkombinationen (Ventilblöcke) oder Hähne mit dem Prozess verbunden. Diese Armaturen sind in ihrem Aufbau und in ihrer Wirkungsweise auf die besonderen Anforderungen der Messtechnik abgestimmt. Sie werden auch häufig Geräteabspernung genannt.

Armaturen sind dem vollen Prozessdruck ausgesetzt. Daher ist bei der Auswahl neben Funktion und Werkstoff besonders auf den von der Betriebstemperatur abhängigen zulässigen Betriebsdruck zu achten. Es wird im Folgenden beispielhaft aufgezeigt, welche grundsätzliche Funktionalität eine Armatur ausweisen sollte.

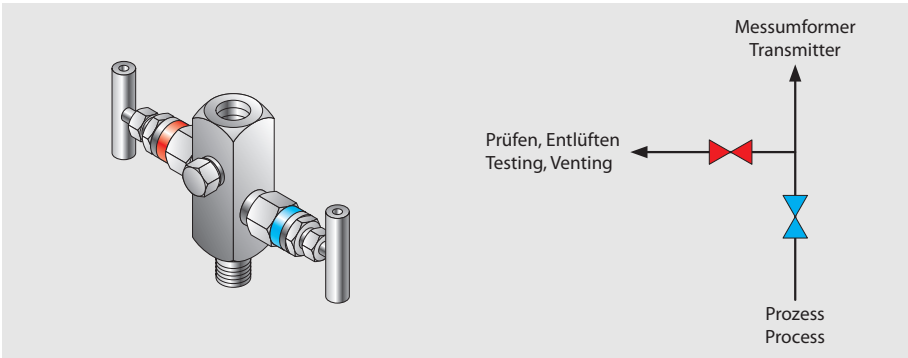
### Anschluss von Überdruck- und Absolutdruck-Messumformern

Diese Messumformer verfügen über nur einen Druckanschluss, wodurch die Möglichkeit besteht, entsprechend einfache Absperrventile zu verwenden. Im einfachsten Fall handelt es sich um ein Ventil, das dazu dient, die Leitung mit dem Messmedium abzusperren, um den Messumformer zu demontieren.

Mehr Möglichkeiten bietet ein Zweifach-Absperrventil. Durch den zweiten Anschluss kann man Prüfdruck auf den Messumformer geben. Dadurch ist eine Überprüfung oder Messbereichseinstellung ohne Demontage des Messumformers möglich.



**Bild 9-4:** Beispiel für ein Einfach-Absperrventil



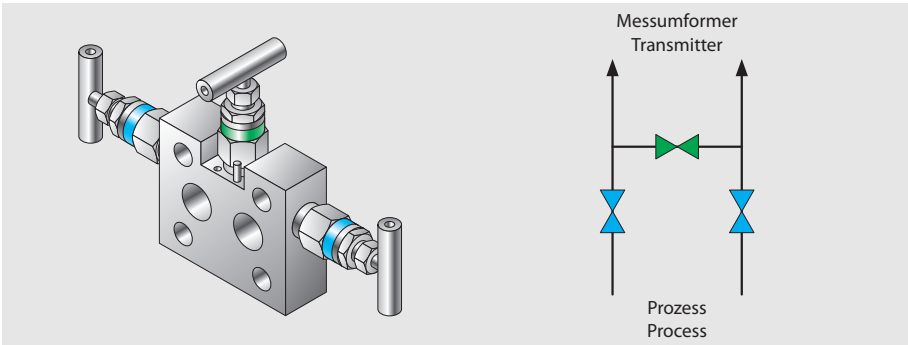
**Bild 9-5:** Beispiel für ein Zweifach-Absperrventil mit Prüfanschluss

### Anschluss von Differenzdruck-Messumformern

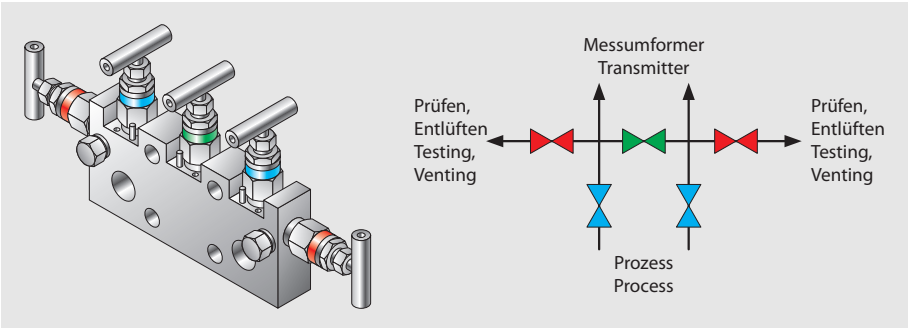
Zum vollständigen Absperrn von Differenzdruck-Messumformern werden mindestens zwei Ventile benötigt. In der Praxis hat sich allerdings die Verwendung von Dreifach-Absperrventilen durchgesetzt. Dabei hat das dritte Ventil die Funktion, einen hydraulischen Kurzschluss zwischen den beiden Messkammern der Differenzdruck-Messzelle herzustellen. Auf diese Weise ist der Nullpunkt der Messumformer auf einfachste Weise überprüfbar.

Bei Messmedien mit hohen Temperaturen, z. B. Dampf, werden oft Fünffach-Absperrventile eingesetzt. Das vierte und fünfte Ventil kann zum Ausblasen der Messleitungen verwendet werden. Messmedien, die wegen ihrer zu hohen Temperatur den Messumformer beschädigen könnten, werden so vorbeigeleitet.

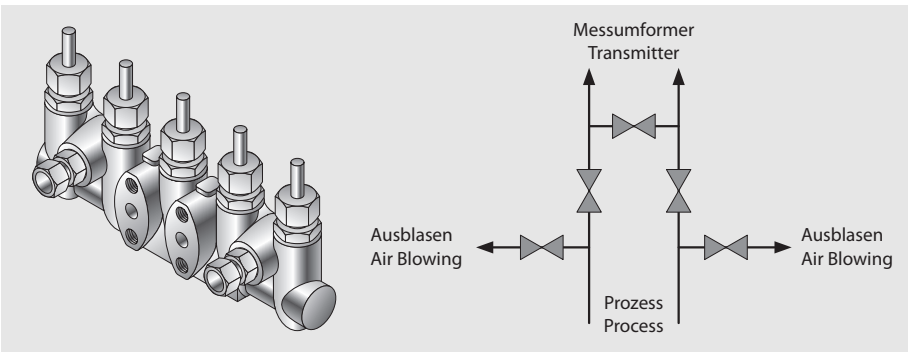
Für die vollständige Geräteüberprüfungen oder Messbereichseinstellungen vor Ort sind Dreifach-Absperrventile mit Prüfanschlüssen verfügbar. Bei Fünffach-Absperrventilen entscheidet die Bauform, ob das vierte und fünfte Ventil zum Ausblasen oder als Entlüftungs- bzw. Prüfanschluss verwendet wird.



**Bild 9-6:** Beispiel für ein Dreifach-Absperrventil zum direkten Anschluss von Differenzdruck-Messumformern



**Bild 9-7:** Fünffach-Absperrventil zum direkten Anbau an Differenzdruck-Messumformer, Ausführung zum Prüfen/Entlüften



**Bild 9-8:** Beispiel für ein Fünffach-Absperrventil zum direkten Anbau an Differenzdruck-Messumformer, Ausführung zum Ausblasen

## 9.3 Wirkdruckleitungen

Die Verbindungsleitungen zwischen Druck-Messumformer und Prozess werden als Wirkdruckleitungen bezeichnet. Je nach Messaufgabe können sie mit Gas oder Flüssigkeit gefüllt sein. In den Wirkdruckleitungen müssen stabile Verhältnisse herrschen, d. h., es sollen sich bei Flüssigkeitsmessungen keine Gasblasen bzw. bei Gasmessungen keine Flüssigkeitsansammlungen bilden. Üblicherweise werden Druck-Messumformer unter Verwendung von zwei Absperrmöglichkeiten angeschlossen, die Entnahme-Absperrventile und das Messumformer-Absperrventil.

Das Entnahme-Absperrventil, das einmal pro Leitung für das Messmedium vorhanden ist, wird möglichst nahe an der Prozessleitung angebracht. Dadurch ist es möglich, den Messumformer, das Messumformer-Absperrventil oder die Wirkdruckleitungen abzubauen, ohne den Prozess zu beeinflussen. Das Messumformer-Absperrventil befindet sich dicht am Messumformer. Es hält das Messmedium in der Leitung, wenn der Messumformer einmal abgebaut wird und ermöglicht so verschiedene Wartungsarbeiten, wie Dichtheitskontrollen, Entlüften bzw. Entwässern und Messumformerüberprüfungen.

### 9.3.1 Verlegung der Wirkdruckleitungen

Für eine fachgerechte Verlegung der Wirkdruckleitungen müssen, unabhängig von der Art der Messung, einige Punkte beachtet werden, damit die Messstelle möglichst wartungsfrei ist und die maximal mögliche Genauigkeit erreicht wird:

- Die Wirkdruckleitungen so kurz wie möglich und ohne scharfe Krümmung verlegen.
- Die Wirkdruckleitungen so verlegen, dass darin keine Ablagerungen möglich sind.
- Gefälle oder Steigung von ca. 8 % nicht unterschreiten.
- Die Wirkdruckleitungen sollten vor dem Anschluss mit Druckluft, oder besser mit dem Messmedium, ausgeblasen bzw. ausgespült werden.
- Die Wirkdruckleitungen bei flüssigem Messmedium vollständig entlüften.
- Die Wirkdruckleitungen so verlegen, dass Gasblasen bei Flüssigkeitsmessung bzw. Kondensat bei Gasmessung in die Prozessleitung zurückgelangen.
- Auf Dichtheit des Anschlusses achten.

Zusätzlich gelten die folgenden Anforderungen bei der Messung mit Differenzdruck-Messumformern:

- Bei flüssigem bzw. dampfförmigem Messmedium muss die Flüssigkeit bzw. das Kondensat in beiden Wirkdruckleitungen gleich hoch stehen, z. B. Kondensatgefäße bei Dampfmessungen auf gleicher Höhe.
- Bei Verwendung von Trennflüssigkeit müssen beide Wirkdruckleitungen auf gleiche Höhe gefüllt werden.
- Bei dampfförmigem Messmedium Kondensatgefäße einsetzen.
- Beide Wirkdruckleitungen möglichst auf gleicher Temperatur halten.
- Auf den richtigen Anschluss der Wirkdruckleitungen achten (Hoch- und Niederdruckseite an der Messzelle).

Wenn diese Anforderungen nicht eingehalten werden können, so besteht unter Umständen trotzdem die Möglichkeit, durch den Einsatz von Druckfühlern eine wartungsfreie Messung mit guter Genauigkeit zu realisieren. Eine weitere Möglichkeit schädliche Flüssigkeits- oder Gaseinschlüsse zu verhindern, bietet der Einsatz von Flüssigkeitsabscheidern bzw. Gassammlern, die allerdings eine fortgesetzte Wartung der Messstelle erfordern.

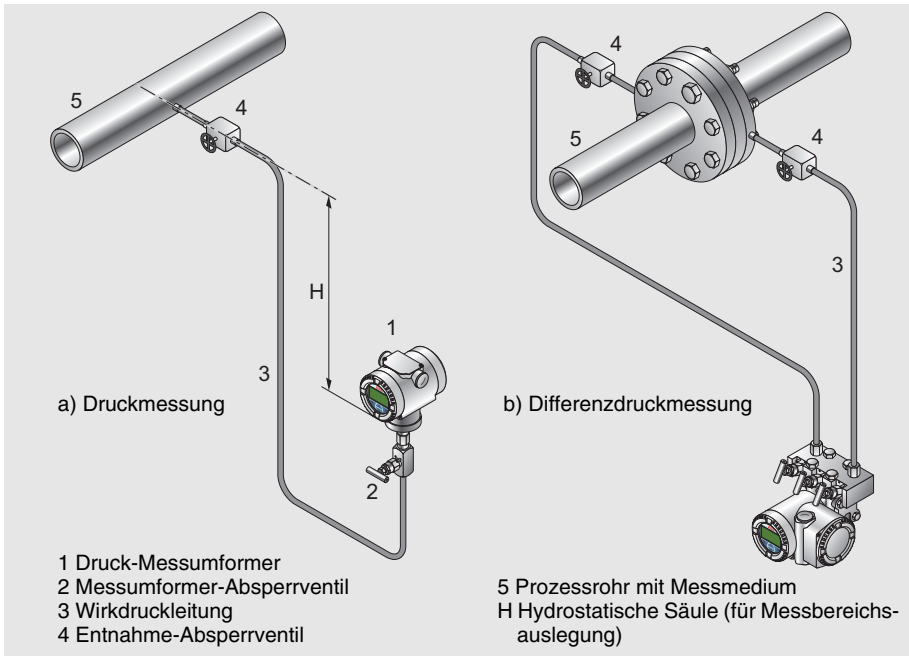
Bei der Festlegung der Messbereiche ist gegebenenfalls ein durch flüssigkeitsgefüllte Wirkdruckleitungen auftretender hydrostatischer Druck mit zu berücksichtigen.

## 9.4 Messumformerinstallation an Rohrleitungen

Im Folgenden sind für verschiedene Messmedien die Installationsvarianten von Messumformern an Rohrleitungen für die Druck-, Differenzdruck- und Durchflussmessung dargestellt.

### 9.4.1 Flüssigkeitsmessungen

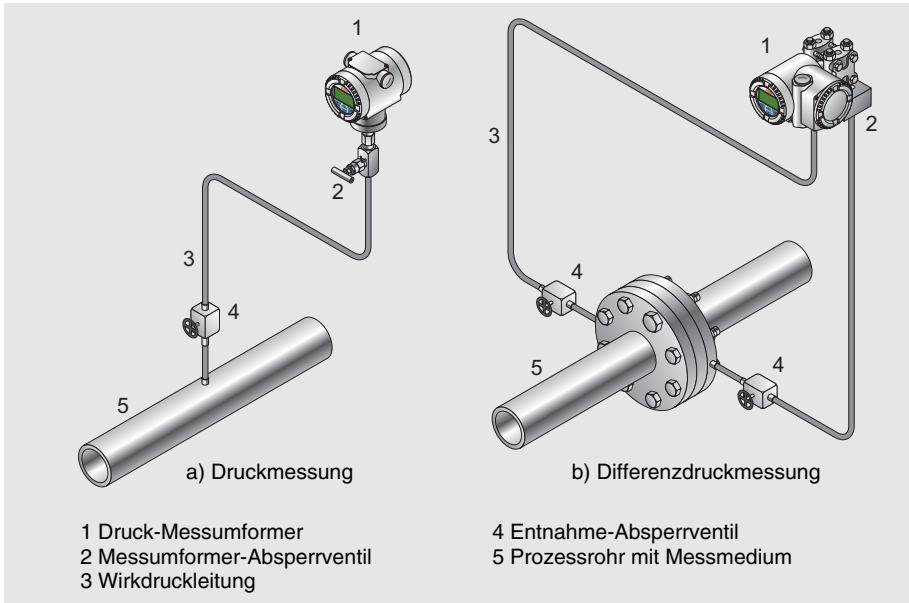
Der Messumformer soll unterhalb des Entnahmestutzens montiert werden damit eventuell anfallende Gasblasen in den Prozess entweichen können. Bei Flüssigkeiten mit hohen Temperaturen dürfen die Wirkdruckleitungen nicht vollständig isoliert werden, damit eine Kühlstrecke zur Verfügung steht und der Messumformer nicht zu hohen Temperaturen ausgesetzt ist.



**Bild 9-9:** Installation bei Flüssigkeitsmessung

## 9.4.2 Gasmessungen

Der Messumformer soll oberhalb des Entnahmestutzens montiert werden, damit eventuell anfallendes Kondensat in den Prozess zurückfließen kann.



**Bild 9-10:** Installation bei Gasmessung

## 9.4.3 Dampfmessungen

Bei der Messung von Dampf muss man sich mit folgenden Problemen auseinandersetzen. Das Messmedium hat in der Regel eine für den Messumformer viel zu hohe Temperatur, und es kommt in den Wirkdruckleitungen durch Dampfabkühlung zu Kondensatbildung. Sammelt sich dieses Kondensat in den Messkammern des Messumformers, dann führt das zu nicht unerheblichen Messfehlern.

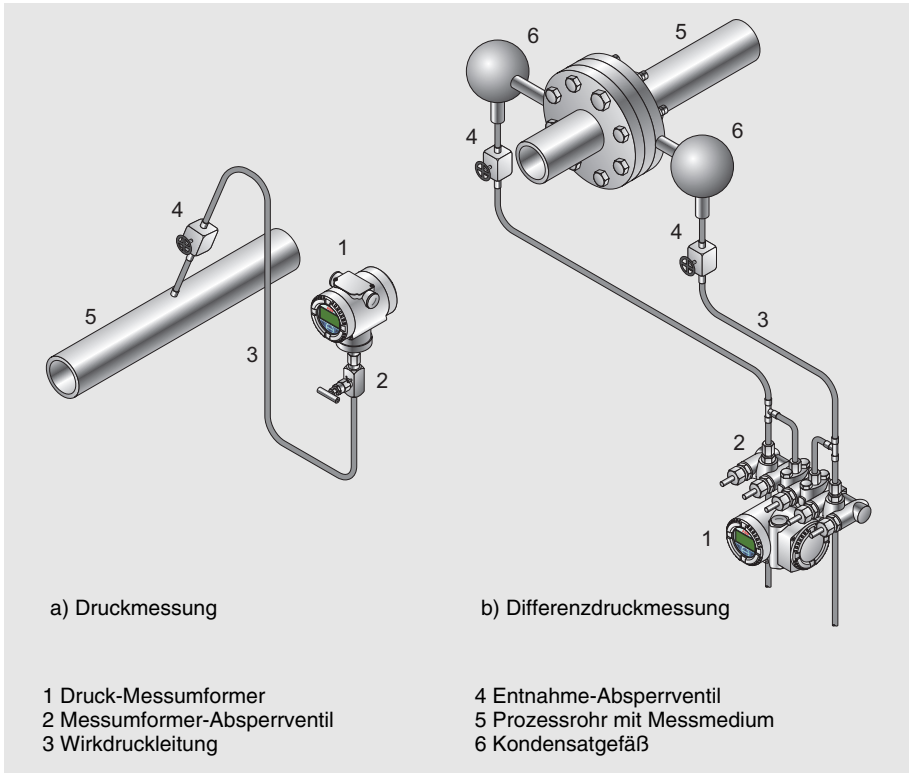
Folglich muss dafür gesorgt werden, dass die Temperatur am Messumformer auf ein zulässiges Maß reduziert wird. Außerdem muss sichergestellt werden, dass sich das Kondensat gezielt bis zu einer definierten, konstanten Höhe sammelt und dann in der Messbereichsauslegung des Messumformers mit berücksichtigt werden kann.

Bei Differenzdruck-Messumformern werden sogenannte Kondensatgefäße verwendet, um eine definierte Höhe der Kondensatsäulen zu erreichen. Überschüssiges Kondensat, das im Betrieb immer anfällt, wird, bedingt durch die Konstruktion der Kondensatgefäße, in den Prozess zurückgeleitet. Die Kondensatgefäße für die Entnahme auf der Hochdruck- und auf der Niederdruckseite müssen sich auf gleicher Höhe befinden.



Bei Druck-Messumformern kann man durch geeignete Verlegung der Wirkdruckleitung erreichen, dass sich das Kondensat zwischen dem Messumformer und dem ersten Rohrbogen an der Prozessleitung sammelt. Der Rohrbogen übernimmt hier die Funktion, die bei der Differenzdruckmessung die Kondensatgefäße haben, nämlich die Rückleitung des überschüssigen Kondensats in den Prozess und das Konstanthalten der Höhe der Kondensatsäule. Durch das Vorhandensein einer Kondensatsäule wird der Messumformer vor der den hohen Dampftemperaturen geschützt.

Bei der Durchflussmessung von Dampf mit Differenzdruck-Messumformer sollte als Messumformer-Absperrventil ein Fünffach-Absperrventil zum Einsatz kommen. Dadurch kann das Ausblasen der Wirkdruckleitungen über separate Ventile/Anschlüsse erfolgen und nicht über den Messumformer, der sonst durch die hohe Messmediumtemperatur beschädigt werden könnte.



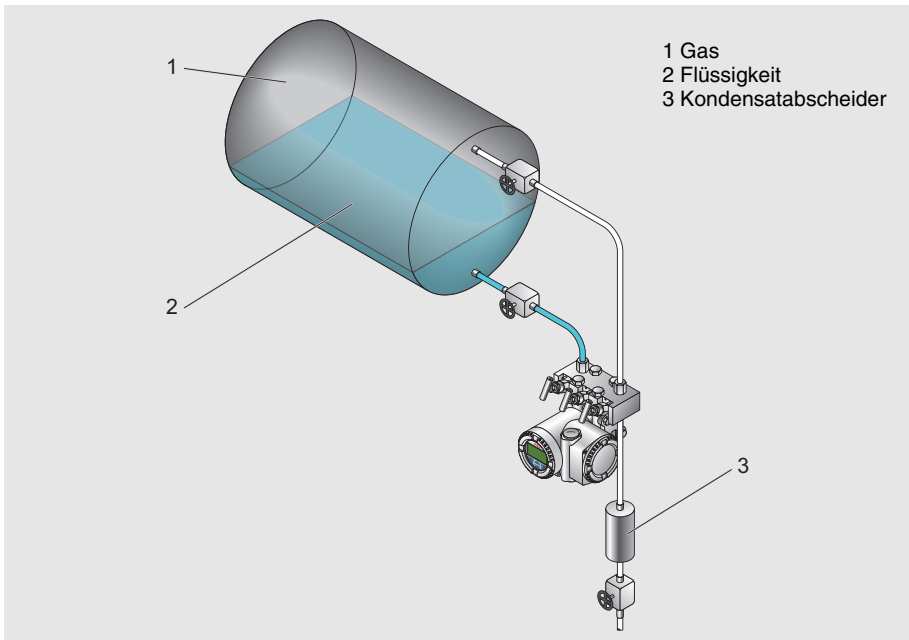
**Bild 9-11:** Installation bei Dampfmessung

## 9.5 Messumformerinstallation an geschlossenen Behältern

Im Folgenden sind Beispiele für den Anschluss von Messumformern zur Füllstandmessung bei Behältern aufgezeigt, jeweils für die verschiedenen Messmediumarten. Weitere Hinweise zur Installation von Messumformern an Behältern sind im Kapitel 9.6 „Messumformerinstallation mit Druckfühlern“ beschrieben.

### 9.5.1 Gasphase oberhalb der Flüssigkeit

Im Allgemeinen werden am Behälter Ventile als Erstabsperungen verwendet. Damit werden die Wirkdruckleitungen, mit denen der Messumformer verbunden ist, im Fall von Störungen oder notwendigen Wartungsarbeiten sicher abgesperrt. Direkt am Messumformer wird ein Dreifach-Ventilblock eingesetzt. Er dient als Absperrung, wenn der Messumformer ausgetauscht werden muss.



**Bild 9-12:** Messumformeranschluss bei Gasphase oberhalb der Flüssigkeit

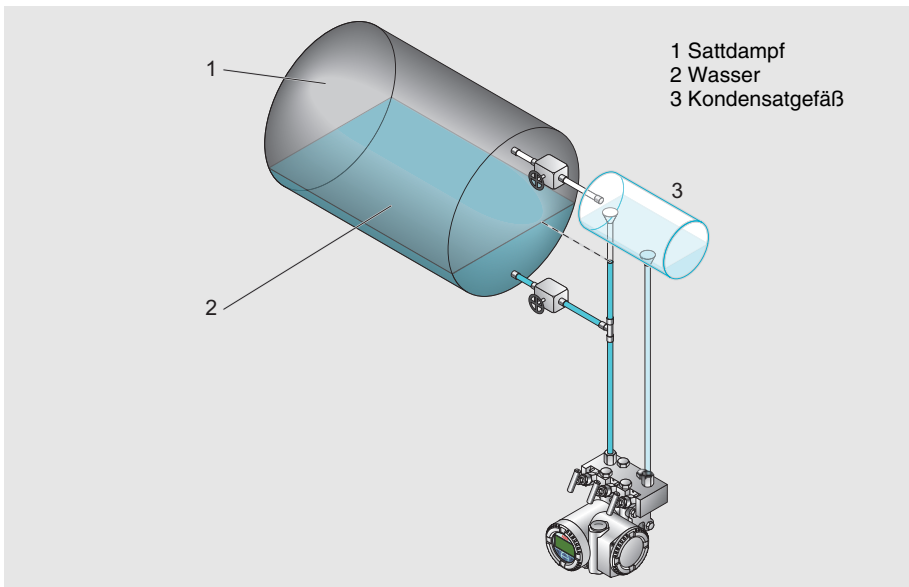
Außerdem kann mit dieser Art von Ventilblock ein hydraulischer Kurzschluss zwischen der Hochdruck- und Niederdruckseite des Messumformers hergestellt werden, ohne dass dabei der Prozess unterbrochen wird. Diese Funktion wird genutzt, um nach der Montage oder bei regelmäßigen Wartungsarbeiten den Nullpunkt des Messumformers zu überprüfen bzw. den Nullpunkt zur Erhöhung der Messgenauigkeit bei vorhandenem Prozessdruck einzustellen.

Besteht die Gefahr, dass das Gas kondensiert, sollte auf der Niederdruckseite ein Kondensat-Sammelbehälter vorgesehen werden. Er verhindert, dass sich in der Messzelle des Messumformers Flüssigkeit sammelt. Dadurch würde ein, wenn auch nur geringer, Gegendruck auf der Niederdruckseite des Messumformers erzeugt. Das führt zu zusätzlichen Messabweichungen. Der Kondensat-Sammelbehälter muss regelmäßig kontrolliert und bei Bedarf geleert werden.

### 9.5.2 Sattdampf oberhalb der Flüssigkeit

Auch bei dieser Anwendung werden Erstabsperrungen und Messumformer-Ventilblöcke eingesetzt. Die Auslegung der Wirkdruckleitungen muss aber, im Gegensatz zur Gasmessung, ganz anders erfolgen. Da kontinuierlich Kondensat anfällt, hat es keinen Sinn, dafür einen Sammelbehälter vorzusehen. Außerdem ist fast immer die Dampftemperatur so hoch, dass er nicht direkt in den Messumformer eingeleitet werden darf.

Deshalb werden Kondensatgefäße eingesetzt, in denen der Dampf kondensieren kann. Dadurch ist sichergestellt, dass die Wirkdruckleitung zur Niederdruckseite des Messumformers immer vollständig mit Flüssigkeit (Kondensat) gefüllt ist. Zusätzlich wird durch die Konstruktion des Kondensatgefäßes erreicht, dass der Flüssigkeitspegel in der Wirkdruckleitung zur Niederdruckseite des Messumformers immer auf konstanter Höhe gehalten wird.



**Bild 9-13:** Messumformeranschluss bei Sattdampf oberhalb der Flüssigkeit

Die genannten Maßnahmen sind für eine genaue Messung unabdingbar, da die Höhe der Flüssigkeitssäule in die Messbereichseinstellung des Messumformers eingeht. Höhengschwankungen würden zu entsprechenden Messfehlern führen.

Es kann notwendig oder auch sinnvoll sein, in gewissen Zeitabständen die Wirkdruckleitungen zu Reinigungszwecken mit dem Messmedium durchzublasen. Wenn der Messumformer mit einem in der Abbildung gezeigten Dreifach-Ventilblock montiert ist, erfolgt das Ausblasen, indem die dem Ventilblock entgegengesetzten Anschlussbohrungen des Messumformers geöffnet werden.

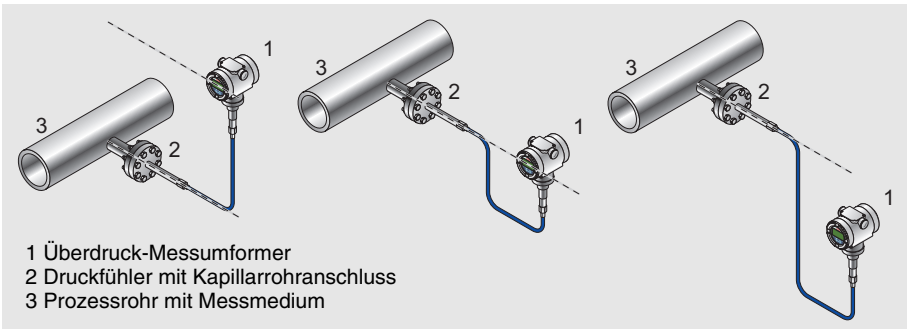
Das Messmedium strömt dann durch den Messumformer. Abhängig von der Temperatur des Messmediums kann das allerdings zur Beschädigung des Messumformers führen. In solchen Fällen wird ein Ventilblock mit fünf Ventilen eingesetzt, der beim Ausblasen über die zwei zusätzlichen Ventile das Messmedium am Messumformer vorbei leitet.

## 9.6 Messumformerinstallation mit Druckfühlern

### 9.6.1 Überdruck- oder Absolutdruckmessung

Für die Druckmessung in einer Rohrleitung oder in einem Behälter kann ein Überdruck-Messumformer mit Druckfühler eingesetzt werden. Dazu wird der Druckfühler vorzugsweise seitlich oder oben an der Rohrleitung montiert, um das Absetzen von Feststoffen auf der Druckfühlermembran zu vermeiden. Wenn der untere Wert des zu messenden Drucks immer größer ist als der Atmosphärendruck, kann der Messumformer an einem beliebigen Montageort auf gleicher Höhe mit dem Druckfühler, über oder unter dem Druckfühler angebracht werden.

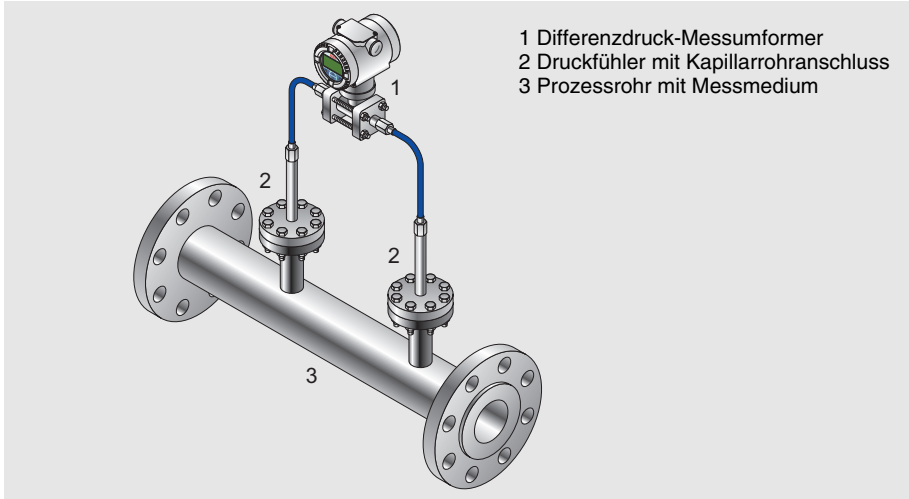
Wenn der zu messende Druck kleiner werden kann als der Atmosphärendruck, sollte der Messumformer unterhalb des Druckfühlers montiert werden. Abhängig vom zu erwartenden Druck an der Messstelle, kann eine Montage des Messumformers auf gleicher Höhe mit dem Druckfühler auch noch akzeptabel sein. Auf keinen Fall darf er oberhalb des Druckfühlers montiert sein, denn dann würde die Flüssigkeitssäule der Kapillarrohrleitung den Druck, der am Messumformer ansteht, gegenüber dem Prozessdruck noch weiter absenken. Das kann dazu führen, dass der Messumformer außerhalb des vom Hersteller spezifizierten zulässigen Druckbereichs betrieben wird. Es könnte sogar die Druckübertragung durch Gasbildung in der Kapillarrohrfüllflüssigkeit unterbrochen werden.



**Bild 9-14:** Mögliche Installationsarten bei der Überdruckmessung

## 9.6.2 Durchflussmessung

Differenzdruck-Messumformer mit zwei Druckfühlern können sowohl für Durchflussmessungen an horizontalen als auch an vertikalen Rohrleitungen verwendet werden. Hierzu wird ein Primärgerät, z. B. eine Blende, in der Rohrleitung benötigt. Der Messumformer kann an jedem beliebigen Ort ober- oder unterhalb der Montagestelle der Druckfühler montiert sein. Der Druckfühler der Hochdruckseite wird vor dem Primärgerät angebracht, der Druckfühler der Niederdruckseite dahinter.



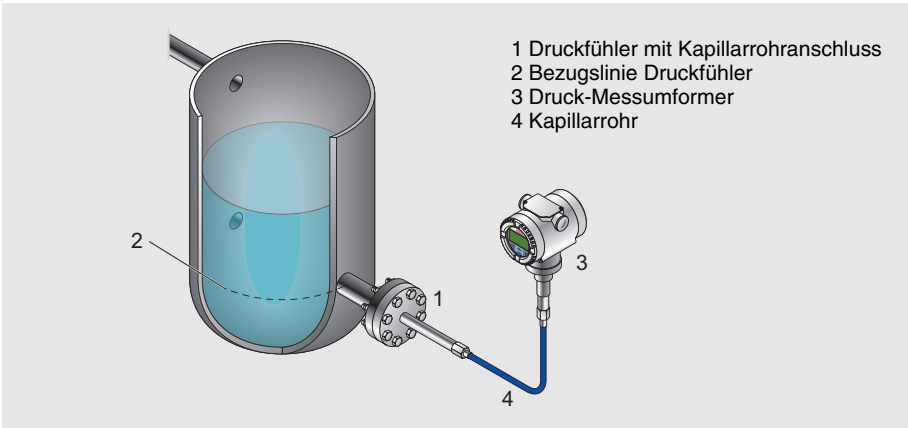
**Bild 9-15:** Durchflussmessung mit Differenzdruck-Messumformer

Bei Installation an einer horizontalen Rohrleitung sind beide Druckfühler auf gleicher Höhe angebracht. Dadurch ist der hydrostatische Druck der Füllflüssigkeit auf der Niederdruck- und der Hochdruckseite des Messumformers gleich. Die Kalibrierung kann bei dieser Installation daher nullpunktbasiert erfolgen. Wenn das Prozessmedium Feststoffe in Suspension enthält, sollten die Druckfühler auf der Oberseite des Rohres angebracht werden, um Feststoffablagerungen auf der Membranoberfläche zu vermeiden.

Bei Installation an einer vertikalen Rohrleitung führt bereits die Höhendifferenz zwischen den beiden Druckfühlern zu einem Differenzdruck, selbst bei nicht vorhandenem Durchfluss. Dieser Differenzdruck ist abhängig von der Höhendifferenz der Druckfühler und vom Dichteunterschied zwischen Messmedium und Füllflüssigkeit. Er muss bei der Kalibrierung bzw. Messbereichseinstellung berücksichtigt werden.

### 9.6.3 Füllstandmessung von Flüssigkeiten bei offenem Behälter

Für die Füllstandmessung bei offenem Behälter kann ein Überdruck-Messumformer mit Druckfühler oder ein Differenzdruck-Messumformer mit nur einem Druckfühler verwendet werden. Der Druckfühler befindet sich auf der Hochdruckseite des Messumformers und muss unten am Behälter angeordnet sein, so dass die Bezugslinie des Druckfühlers auf gleicher Höhe mit dem minimalen Füllstand oder leicht darunter liegt. Der Messumformer kann oberhalb oder unterhalb des Druckfühlers montiert sein. Die Niederdruckseite des Differenzdruck-Messumformers muss gegen die Atmosphäre belüftet sein.



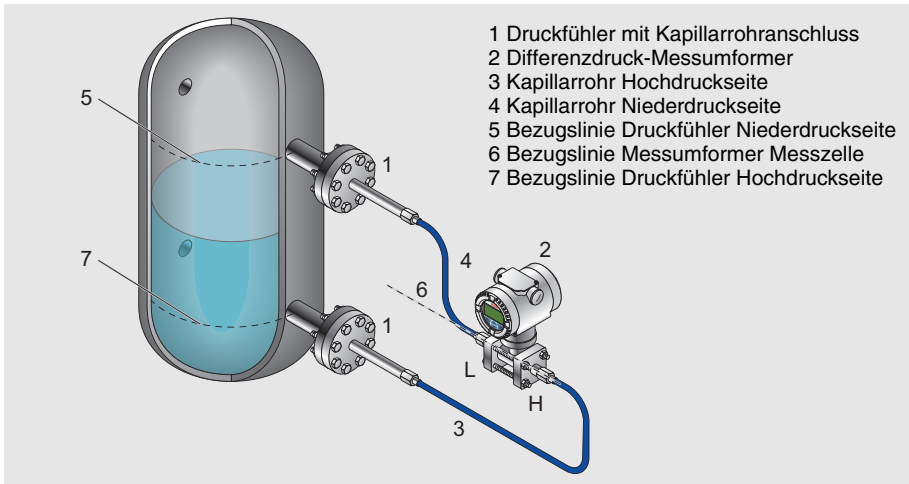
**Bild 9-16:** Füllstandmessung bei offenem Behälter

## 9.6.4 Füllstandmessung von Flüssigkeiten bei geschlossenem Behälter

### Differenzdruck-Messumformer mit zwei Druckfühlern

Der Druckfühler der Hochdruckseite wird unten am Behälter angebracht. Die Bezugslinie des Druckfühlers muss sich dabei auf gleicher Höhe mit oder unter dem minimalen Füllstand befinden. Der Druckfühler der Niederdruckseite muss oben am Behälter angebracht sein, so dass seine Bezugslinie auf gleicher Höhe mit oder über dem maximalen Füllstand liegt.

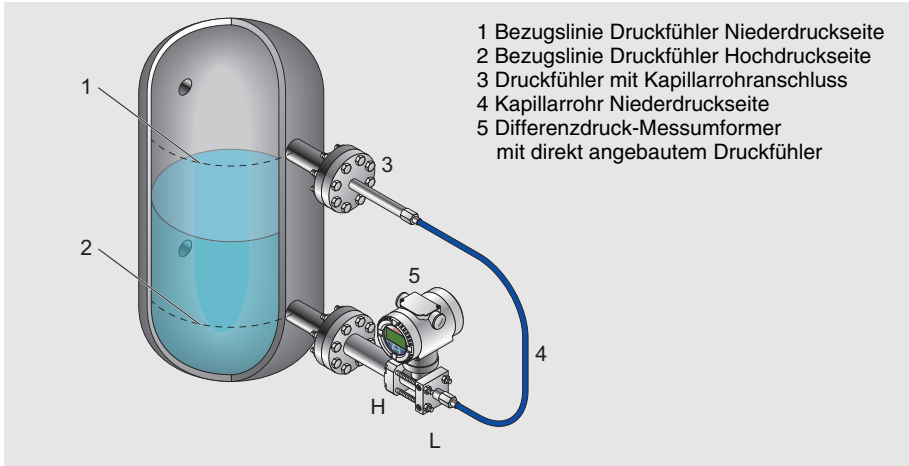
Der Messumformer kann zwischen den beiden Druckfühlern (Standard) oder auch, wenn der Behälterdruck größer ist als der Atmosphärendruck, ober- oder unterhalb der beiden Druckfühler montiert werden.



**Bild 9-17:** Füllstandmessung am geschlossenen Behälter mit zwei Druckfühlern mit Kapillarrohranschluss



Eine noch vorteilhaftere Messung wird z. B. mit Messumformern mit direkt montiertem Druckfühler erzielt. Der Messumformer wird mit seinem hochdruckseitigen Druckfühler direkt an den unteren Prozessflansch montiert. Bei diesem Montageort entfällt das hochdruckseitige Kapillarrohr und reduziert somit das Füllvolumen auf dieser Seite, so dass eine noch genauere Messung erzielt wird. Dieser Montageort reduziert die erforderliche Länge der Kapillarleitungen auf ein Minimum und ermöglicht die gleichmäßigste Verteilung der Umgebungstemperatur über die gesamte Kapillarrohrlänge.

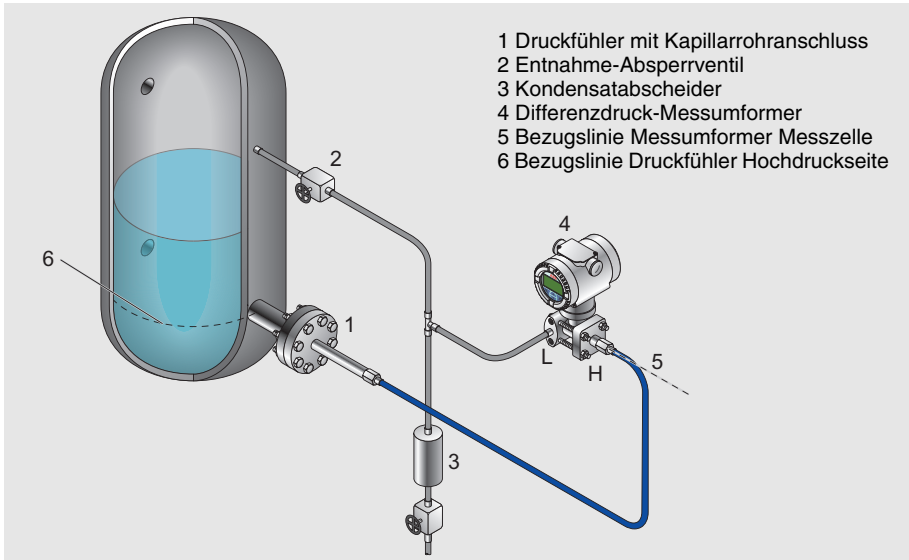


**Bild 9-18:** Füllstandmessung bei geschlossenem Behälter mit direkt angebaute Druckfühler auf der Hochdruckseite



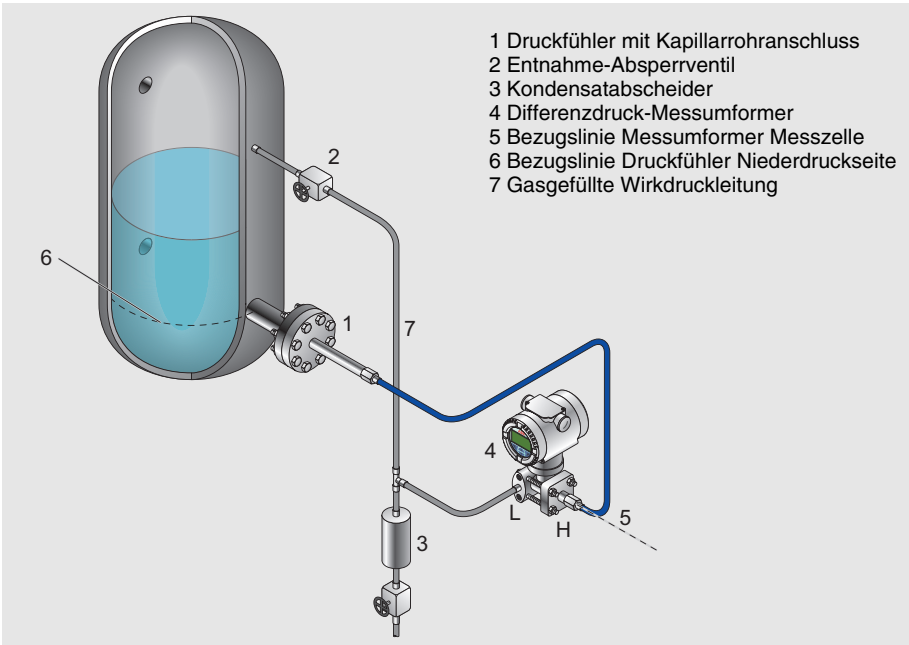
## Differenzdruck-Messumformer mit einem Druckfühler

Wird ein Differenzdruck-Messumformer mit nur einem Druckfühler zur Füllstandmessung in einem Druckbehälter eingesetzt, muss eine Wirkdruckleitung zwischen dem Dampfraum oben im Behälter und der Niederdruckseite des Messumformers vorgesehen werden. Dadurch wird der Druckausgleich gewährleistet. Der Druckfühler befindet sich auf der Hochdruckseite des Messumformers und muss unten am Behälter angeordnet sein, so dass seine Bezugslinie auf gleicher Höhe mit oder unter dem minimalen Füllstand liegt.



**Bild 9-20:** Füllstandmessung bei geschlossenem Behälter – Messumformer mit einem Druckfühler und gasgefüllter Wirkdruckleitung oberhalb des minimalen Füllstandes montiert

Wenn oberhalb der Behälterflüssigkeit trockenes Gas vorhanden ist, das nicht kondensiert, müssen für die Verlegung der Wirkdruckleitung keine über den normalen Rahmen hinausgehenden Empfehlungen beachtet werden. Alle Anschlussmöglichkeiten mit nur einem Druckfühler sind nicht für Vakuumbetrieb geeignet.

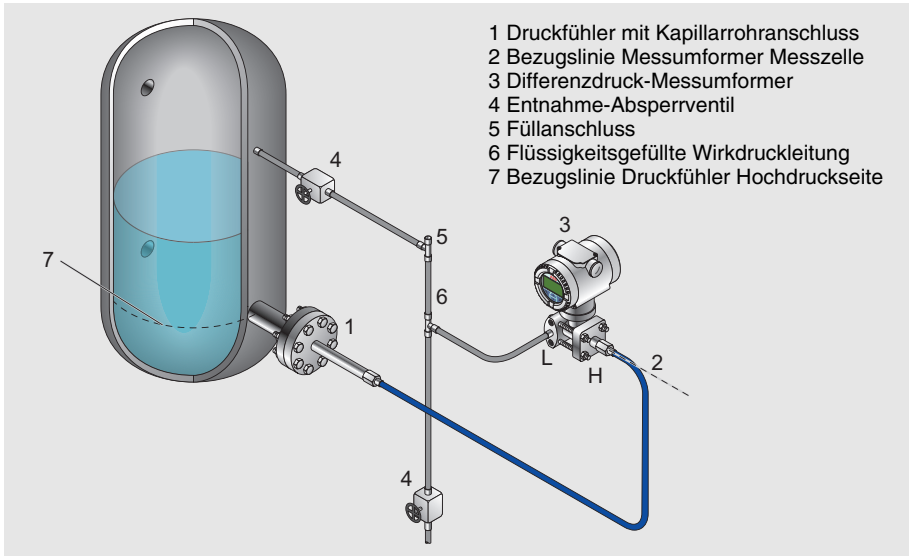


**Bild 9-21:** Füllstandmessung bei geschlossenem Behälter – Messumformer mit einem Druckfühler und gasgefüllter Wirkdruckleitung unterhalb des minimalen Füllstandes montiert

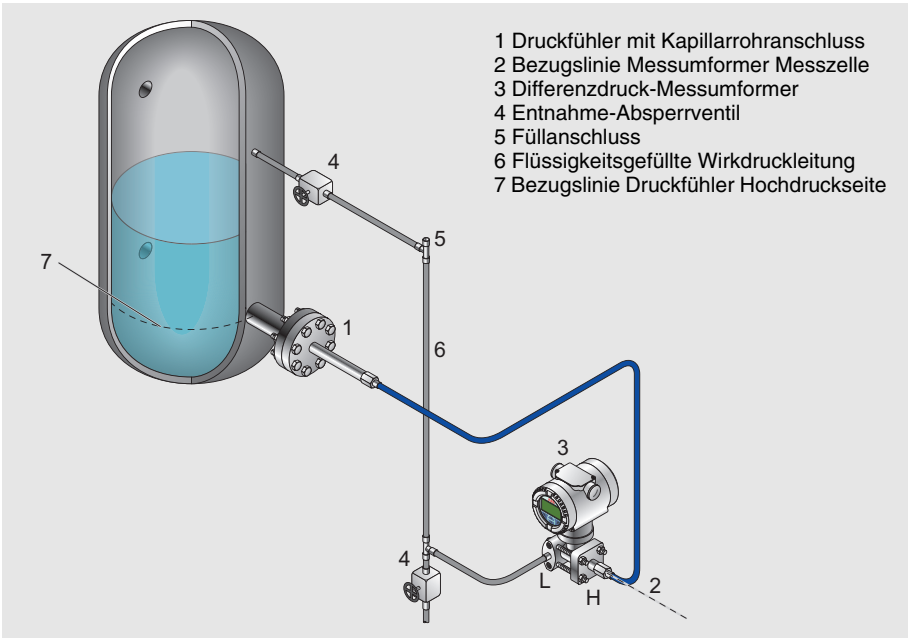
Zur Sicherheit kann ein Kondensatabscheider an der tiefsten Stelle der Wirkdruckleitung vorgesehen werden. Er verhindert, dass sich Kondensat im Messumformer sammelt, wenn doch Betriebszustände auftreten sollten, die geringe Mengen Kondensat anfallen lassen.

Wenn zu erwarten ist, dass das Gas oberhalb der Behälterflüssigkeit in der Wirkdruckleitung kondensiert, muss sichergestellt werden, dass diese Leitung dauernd vollständig mit Flüssigkeit gefüllt ist. Eine in der Höhe schwankende Flüssigkeitssäule an dieser Stelle führt zu erheblichen Messfehlern.

Die konstante Säulenhöhe wird erreicht, indem in die Wirkdruckleitung vor Inbetriebnahme der Messung eine Sperrflüssigkeit über einen in der Leitung vorhandenen Füllanschluss eingefüllt wird. Der Verdampfungspunkt der Sperrflüssigkeit hinsichtlich Druck und Temperatur sollte deutlich höher liegen als der Verdampfungspunkt der Behälterflüssigkeit.



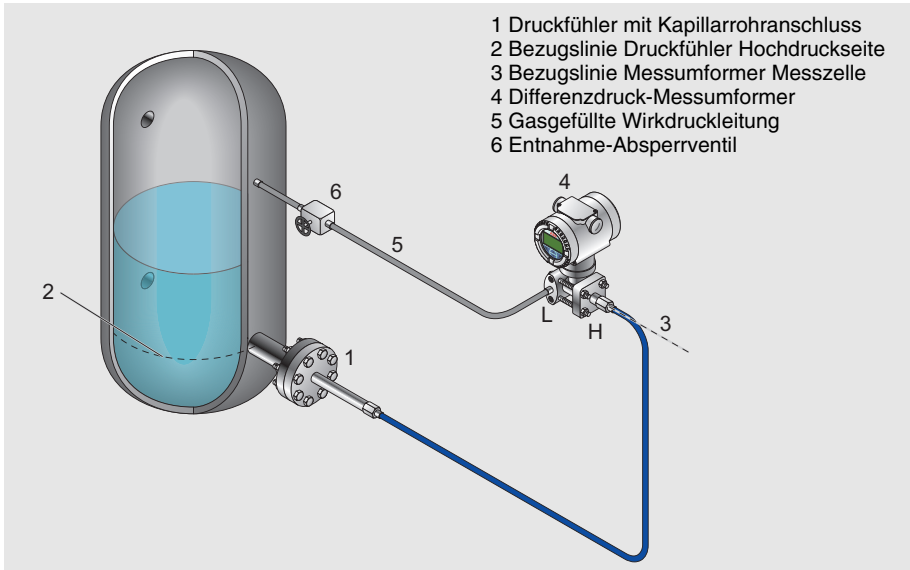
**Bild 9-22:** Füllstandmessung bei geschlossenem Behälter – Messumformer mit einem Druckfühler und flüssigkeitsgefüllter Wirkdruckleitung oberhalb des minimalen Füllstandes montiert



**Bild 9-23:** Füllstandmessung bei geschlossenem Behälter – Messumformer mit einem Druckfühler und flüssigkeitsgefüllter Wirkdruckleitung unterhalb des minimalen Füllstandes montiert

Alle Anschlussmöglichkeiten mit nur einem Druckfühler sind nicht für Vakuumbetrieb geeignet.

Auf die flüssigkeitsgefüllte Wirkdruckleitung kann verzichtet werden, wenn der Messumformer möglichst dicht an der Behälteroberseite angebracht wird, so dass entstehendes Kondensat in den Behälter zurückfließen kann.



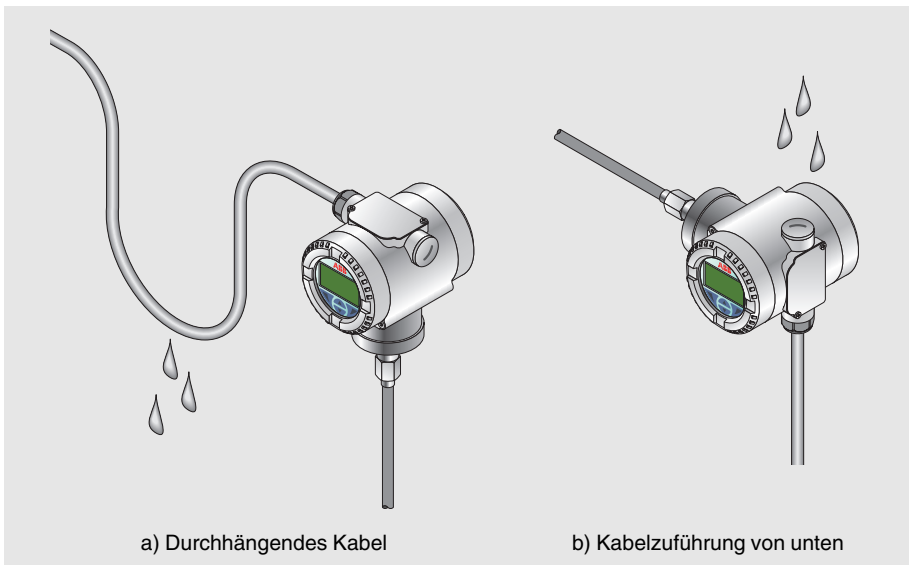
**Bild 9-24:** Füllstandmessung bei geschlossenem Behälter – Messumformer mit einem Druckfühler und gasgefüllter Wirkdruckleitung an der Behälteroberseite montiert

## 9.7 Elektrische Anforderungen

Für den elektrischen Anschluss von Druck-Messumformern gibt es in der Regel unterschiedliche Möglichkeiten, die entsprechend der in einer Anlage üblichen Anschlusstechnik ausgewählt werden. Hauptsächlich werden verschiedene Bauformen von Kabelverschraubungen oder Steckern verwendet. Diese Anschlusselemente können Lieferbestandteil des Messumformers sein, oder es werden lediglich die Anschlussgewinde dafür bereitgestellt. Es ist darauf zu achten, dass bei Geräteausführungen mit Zulassungen für besondere Anwendungsbereiche, z. B. für den Einsatz in explosionsgefährdeten Umgebungen, auch diese beizustellenden Anschlusselemente ebenso eine Zulassung erfordern.

Die Belegung der Anschlussklemmen oder der Steckerkontakte ist nicht genormt und muss für den jeweiligen Messumformer aus der zugehörigen Dokumentation entnommen werden. Die verwendeten Kabel müssen für die vorhandenen Umgebungsbedingungen geeignet sein und einen Durchmesser aufweisen, der an den Klemmbereich der verwendeten Kabelverschraubung angepasst ist. So wird sichergestellt, dass der Messumformer ausreichend gegen eindringende Feuchtigkeit geschützt ist. Aus diesem Grund muss auch die Kabelverschraubung sorgfältig angezogen werden.

Die Gehäuse der Druck-Messumformer haben üblicherweise die Gehäuseschutzart IP 65 oder höher. Der Messumformer wird zusätzlich gegen das Eindringen von Feuchtigkeit geschützt, wenn das Anschlusskabel vor der Verschraubung nach unten geführt wird. Regen- und Kondenswasser können so abtropfen. Das gilt insbesondere für die Montage im Freien, in feuchten Räumen oder an gekühlten bzw. beheizten Behältern.



**Bild 9-25:** Maßnahmen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit



Es ist natürlich darauf zu achten, dass bei der elektrischen Installation die entsprechenden einschlägigen nationalen Vorschriften zu beachten sind. Sollte der Messumformer keine Abschaltetelemente besitzen, sind Überstromschutzeinrichtungen, Überspannungsschutzeinrichtungen (Blitzschutz) bzw. Netztrennmöglichkeiten anlagenseitig vorzusehen. Die vorhandene Betriebsspannung muss mit der auf dem Typenschild angegebenen Betriebsspannung übereinstimmen.

Ist eine digitale Kommunikation vorgesehen, stellt sie in der Regel zusätzliche Anforderungen an die Elektroinstallation. Die für die jeweils verwendete Kommunikationsart zu beachtenden Anforderungen an den Aufbau des Signal- bzw. Versorgungskreises, die Art der Verkabelung usw. kann den einschlägigen Regelwerken entnommen werden.



# 10 Spezifikationen in Datenblättern

Um die Tauglichkeit eines Druck-Messumformers für eine bestimmte Anwendung beurteilen zu können, werden die Angaben aus dem zugehörigen Datenblatt benötigt.

Es enthält in der Regel folgende Informationen:

- verfügbare Messbereiche und Nenndrücke bzw. Überlastbereiche
- zulässige Betriebs-, Prozess- und Lagertemperaturen
- zulässige mechanische Belastungen
- messtechnische Eigenschaften
- notwendige Energieversorgung
- verfügbare Werkstoffe zur Beurteilung der Korrosionsbeständigkeit
- verfügbare Zulassungen und Zertifikate
- spezielle Funktionen wie Kommunikationsprotokolle, Kennlinienformen
- Bestellinformationen

Obwohl die zur Beschreibung der Geräte verwendeten Begriffe sehr häufig genormt sind, werden nachfolgend am Beispiel der Druck-Messumformer von ABB die Wesentlichen aufgeführt und erläutert, so dass deren Bedeutung deutlich wird.

## 10.1 Funktionale Spezifikation

### Messbereich

Jeder Druck-Messumformer kann, bedingt durch den eingebauten Drucksensor, nur in einem begrenzten Bereich messen. Bei Differenzdruck-Messumformern, und bis zu einem gewissen Grad auch bei Überdruck-Messumformern, kann der zu messende Bereich sowohl negativ als auch positiv sein. Die Messbereichsgrenzen beschreiben den mit dem jeweiligen Gerät messbaren größten positiven und negativen Druck. Abgeleitet aus dem englischen wird die obere Bereichsgrenze häufig auch als URL (upper range limit) bezeichnet und die untere Bereichsgrenze dementsprechend als LRL (lower range limit).

### Messspanne

Unter Messspanne ist die Differenz zwischen den eingestellten Werten für Messbereichsende und Messbereichsanfang zu verstehen. Die Werte können beliebig sein, solange sie innerhalb der Messbereichsgrenzen liegen.

Die bei einem Druck-Messumformer mögliche minimale und maximale Messspanne ist im jeweiligen Datenblatt angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Messgenauigkeit immer mehr abnimmt, je kleiner die tatsächlich eingestellte Messspanne im Verhältnis zur maximal möglichen Messspanne ist.

Abgeleitet aus dem Englischen werden die Werte für den eingestellten Messbereichsanfang auch als LRV (lower range value) und für das eingestellte Messbereichsende entsprechend als URV (upper range value) bezeichnet.

### **Dämpfung**

Die Dämpfung ist eine elektrisch einstellbare Zeitkonstante, die verändert werden kann, wenn das Messsignal ein unerwünschtes unruhiges Ausgangssignal (z. B. durch Pulsation) erzeugt. Eine Vergrößerung der Zeitkonstante hat zwar ein ruhiges Ausgangssignal zur Folge, führt aber gleichzeitig zu langsameren Reaktionszeiten des Messumformers. Das Ergebnis ist daher häufig ein Kompromiss zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Verhalten des Ausgangssignals.

### **Anwärmzeit**

Die Anwärmzeit ist die Zeit, die ein Messumformer nach dem Einschalten der Energieversorgung braucht, damit das Messsignal die spezifizierte Messgenauigkeit aufweist.

### **Isolationswiderstand**

Der Isolationswiderstand beschreibt den Widerstand zwischen den Anschlussklemmen des Messumformers und dem Erdpotenzial.

## **10.2 Betriebsgrenzen**

### **Druckgrenzen für Überdruck, statischen Druck und Prüfdruck**

Die Überdruckgrenzen geben an, mit welchem minimalen und maximalen Druck der Messumformer ohne Beschädigung betrieben werden darf. Ein minimaler Druck wird in der Regel angegeben, weil Druck im Vakuumbereich dazu führt, dass die Messumformer-Füllflüssigkeit durch Veränderung ihrer Eigenschaften, z. B. Gasblasenbildung, die Messgenauigkeit negativ beeinflusst.

Die statischen Druckgrenzen umschreiben den Bereich, in dem der Messumformer innerhalb der angegebenen Spezifikation arbeitet. Sie werden in den meisten Fällen nur für Differenzdruck-Messumformer angegeben, weil hier ein deutlicher Unterschied zwischen Messbereich und aus Festigkeitsgründen zulässigem statischen Druck besteht. Bei Messumformern für Überdruck oder Absolutdruck sind die Grenzen, bei denen das Gerät innerhalb der Spezifikation arbeitet, meistens identisch mit den Messbereichsgrenzen.

Der Prüfdruck gibt darüber Auskunft, bis zu welcher Höhe der Messumformer z. B. bei Sicherheitsdruckproben belastet werden darf, ohne beschädigt oder undicht zu werden.

## Temperaturgrenzen für Umgebung, Prozess und Lagerung

Die Umgebungstemperatur ist die Temperatur, bei der der Messumformer innerhalb der spezifizierten Daten betrieben werden darf. Sie hängt wesentlich von der konstruktiven Ausführung des Messumformers ab. Einflussgrößen können z. B. die Füllflüssigkeit oder die Art der verwendeten Dichtringe sein. Es ist möglich, dass nicht nur die konstruktive Ausführung die Umgebungstemperatur bestimmt, sondern dass sie auch für besondere Anwendungen, wie explosionsgeschützte Ausführung, aus Sicherheitsgründen eingeschränkt werden muss.

Die Prozesstemperatur ist die Temperatur, die das Messmedium, das mit der Messzelle in Berührung kommt, nicht dauerhaft unter- oder überschreiten darf, ohne den Messumformer zu beschädigen.

Der Lagertemperaturbereich gibt an, welche Temperaturgrenzen bei der Lagerung einzuhalten sind.

## 10.3 Umgebungseinflussgrenzen

Außer zu den besonders wichtigen Druck- und Temperaturgrenzwerten, werden Angaben zu verschiedenen anderen Umgebungsbedingungen gemacht, die häufig nur zeitweise auftreten aber ebenso wie Druck und Temperatur das Verhalten des Messumformers beeinflussen können bzw. beim Einsatz zu beachten sind.

Das können sein:

- elektromagnetische Verträglichkeit,
- Anwendung der Druckgeräterichtlinie  
Ob für Druck-Messumformer eine Einstufung nach Druckgeräterichtlinie erforderlich ist oder nicht, hängt zum einen vom Volumen ab, das von den drucktragenden Teilen eingeschlossen wird und zum anderen vom zulässigen Druck,
- zulässige relative Luftfeuchte,
- Schwingungs- und Schockfestigkeit,
- Gehäuseschutzart (IP-Klassifizierung).

Die Schutzart wird von den gewählten Messumformeroptionen beeinflusst, so dass nicht zwangsläufig alle Varianten die gleiche Schutzart haben. So können spezielle Ausführungen für den elektrischen Anschluss, wie Stecker, zu einer Einschränkung der Gehäuseschutzart führen. Weiterführende Angaben dazu in Kapitel 12.

## Explosionsgefährdete Atmosphären

Eine der wichtigsten Zulassungen für Druck-Messumformer ist die Zulassung für den Einsatz in explosionsgefährdeten Umgebungen.

Es erfolgt meistens nur die Darstellung der für den Einsatz wichtigsten Daten, damit eine Abschätzung über die grundsätzliche Verwendbarkeit des Gerätes gemacht werden kann. Für die abschließende Beurteilung ist immer die von einer autorisierten unabhängigen Instanz ausgestellte letztgültige Zulassung heranzuziehen.

## 10.4 Elektrische Daten und Funktionalität

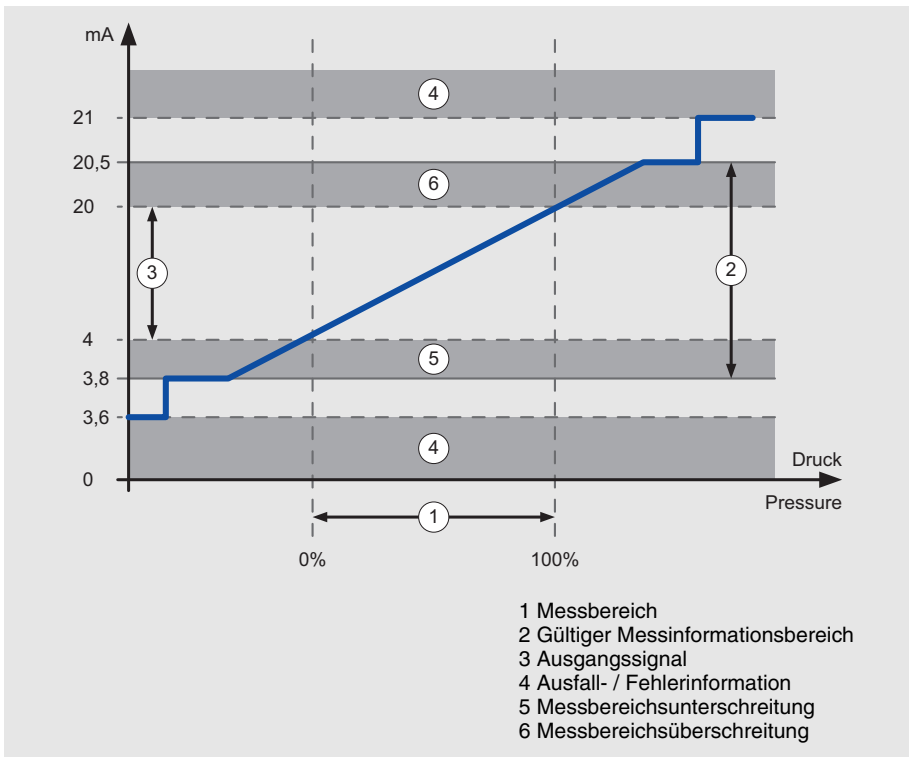
Es werden diejenigen Daten mitgeteilt, die für den elektrischen Teil des Messumformers zutreffend sind. Das ist die notwendige Spannungsversorgung mit ihren Grenzwerten, die zulässige Welligkeit und die spannungsabhängig mögliche Bürde. Optional erhältliche elektrische Zusatzeinrichtungen, wie örtliche Anzeige oder Überspannungsschutz, werden mit ihren Leistungsdaten beschrieben.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Beschreibung der Gerätefunktionalität. Selbst einfache Druck-Messumformer leisten heute viel mehr als die einfache Messung eines Drucksignals und seine lineare Umwandlung in ein elektrisches Ausgangssignal. Standardmäßig bieten z. B. Druck-Messumformer von ABB außer einer linearen noch folgende Übertragungsfunktionen bzw. Kennlinien.

- Radizierte Kennlinie  
Angewendet bei der Durchflussmessung mit Drosselgeräten. Unterfunktionen sind dabei die für Durchflussmessungen wichtige Schleichmengenunterdrückung und der einstellbare Lin-Rad-Übergangspunkt. Beide Funktionen sollen verhindern, dass die durch die radizierende Übertragungsfunktion bedingte sehr hohe Signalverstärkung bei sehr kleinen Messsignalen zu nicht akzeptablen Messfehlern führt. Die Schleichmengenunterdrückung setzt bei sehr kleinen Messsignalen das Ausgangssignal auf Null, um evtl. angeschlossene Zählwerke sicher anzuhalten. Die Lin-Rad-Übergangsfunktion begrenzt im unteren Messbereich die Signalverstärkung.
- Kennlinie mit den Exponenten  $3/2$  oder  $5/2$   
Angewendet werden diese Kennlinien ebenfalls bei der Durchflussmessung. Die Funktion  $\exp^{3/2}$  wird zur Durchflussmessung in offenen Kanälen, bei Verwendung von rechtwinkligen Stauwehren nach ISO 1438 oder trapezförmigen Stauwehren und bei Venturi-Kanälen nach ISO 1438 eingesetzt. Die Funktion  $\exp^{5/2}$  wird zur Durchflussmessung in offenen Kanälen bei Verwendung von dreieckigen Stauwehren (V-Querschnitt) nach ISO 1438 eingesetzt. Beide Funktionen potenzieren den gemessenen Prozessdruck (Stauhöhe  $h$ ), so dass der Ausgangswert proportional zum Durchfluss ist.

- **Quadratwurzel für bidirektionalen Durchfluss**  
Diese Funktion arbeitet wie die radizierte Kennlinie, ist aber in der Lage, sowohl negative als auch positive Eingangssignale zu verarbeiten. Damit ist die Möglichkeit gegeben den Durchfluss an einem Drosselgerät in zwei Richtungen zu messen.
- **Frei programmierbare Kennlinie**  
Mit Hilfe von 22 Stützpunkten, deren Lage vom Anwender frei wählbar ist, kann eine beliebige Kennlinie programmiert werden. Die Funktion wird zum Beispiel verwendet, wenn bei Füllstandmessungen an nicht zylindrischen Behältern das Füllvolumen gemessen werden soll. Die Kennlinien für kugelförmige oder liegende zylindrische Behälter sind bereits fest vorgegeben und können während des Konfigurierens einfach aus einer Liste ausgewählt werden.

Für Messumformer, die als Ausgangssignal einen Strom liefern, ist es wichtig zu wissen wie sich dieses Ausgangssignal im Überlastfall oder im Fehlerfall verhält. Sowohl der Überlastsstrom, der bei der Übersteuerung des Messumformers auftritt, als auch der maximale Strom, den das Gerät bei erkannten internen Fehlern liefert, kann in bestimmten Grenzen vom Anwender eingestellt werden. Diese Grenzen sind ebenfalls angeben.



**Bild 10-1:** Darstellung der Bereiche des Stromsignals

Für Druck-Messumformer mit Feldbusanschluss werden neben den erforderlichen Werten für die Energieversorgung, den Stromverbrauch und das jeweilige Ausgangssignal, im Wesentlichen die Zykluszeit und die Anzahl und Art der vorhandenen Funktionsblöcke angegeben.

## 10.5 Messgenauigkeit

Die Angaben zur Messgenauigkeit gliedern sich in der Regel in zwei Teile. Zum Ersten in Angaben unter Referenzbedingungen und zum Zweiten in Angaben zu den Einflüssen, die durch Änderungen von Prozess- bzw. Umgebungsbedingungen entstehen.

Die jeweils gültigen Referenzbedingungen müssen angegeben sein und beziehen sich auf:

- Umgebungstemperatur,
- Atmosphärendruck,
- Luftfeuchte,
- Lage des Messumformers,
- Trennmembranmaterial und Füllflüssigkeit,
- Übertragungsfunktion, z. B. linear oder radizierend.

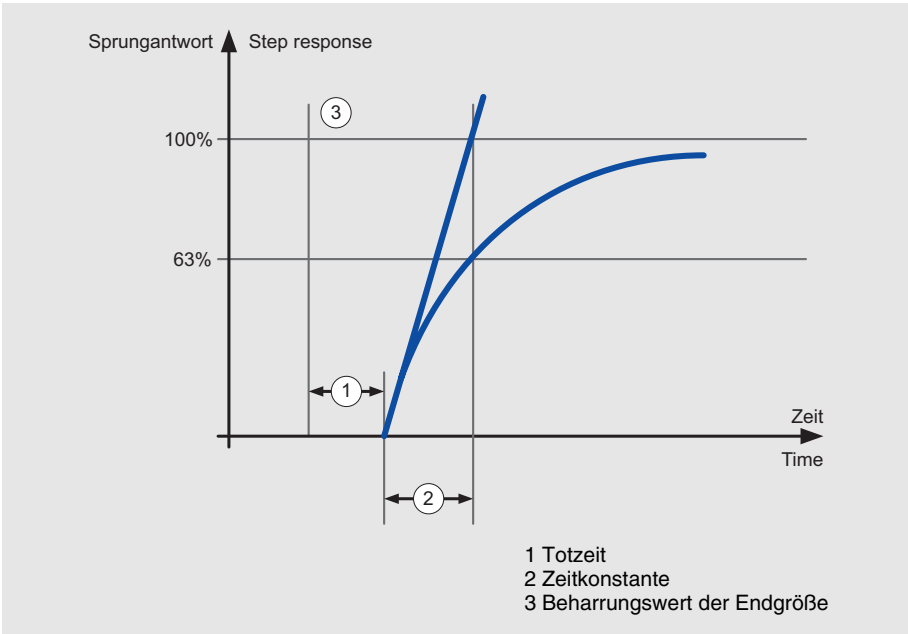
Da die Genauigkeit, mit der der Messumformer an einer bestimmten Messstelle arbeitet, von verschiedenen Größen beeinflusst wird, muss sie aus mehreren Einzelangaben unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen errechnet werden. Einfacher für den Anwender ist es, wenn zusätzlich zu den Einzelangaben eine Gesamtabweichung (Total Performance) angegeben wird. Die dann allerdings nur für definierte Betriebs- und Umgebungsbedingungen gilt. Wenn der Messumformer bei davon abweichenden Bedingungen betrieben wird, muss die Gesamtabweichung für die Messstelle aus den Einzelangaben errechnet werden.

### Angaben unter Referenzbedingungen

Unter Referenzbedingungen werden das dynamische Verhalten und die Messabweichung angegeben. Eine gebräuchliche Angabe für das dynamische Verhalten ist die Angabe von Totzeit und Zeitkonstante. Dabei beschreibt die Totzeit, wie lange der Messumformer benötigt, bis sich nach einer Änderung des Drucksignals auch das Ausgangssignal verändert. Dagegen gibt die Zeitkonstante an, wann das Ausgangssignal nach einer Eingangssignaländerung 63 % dieser Änderung erreicht hat.

Darüber hinaus gibt es weitere Möglichkeiten, das dynamische Verhalten eines Druck-Messumformers zu beschreiben. Deshalb sollte bei der Beschreibung des dynamischen Verhaltens immer angegeben sein, welche Norm den gemachten Angaben zugrunde liegt, bzw. nach welcher Norm die Angaben ermittelt wurden.

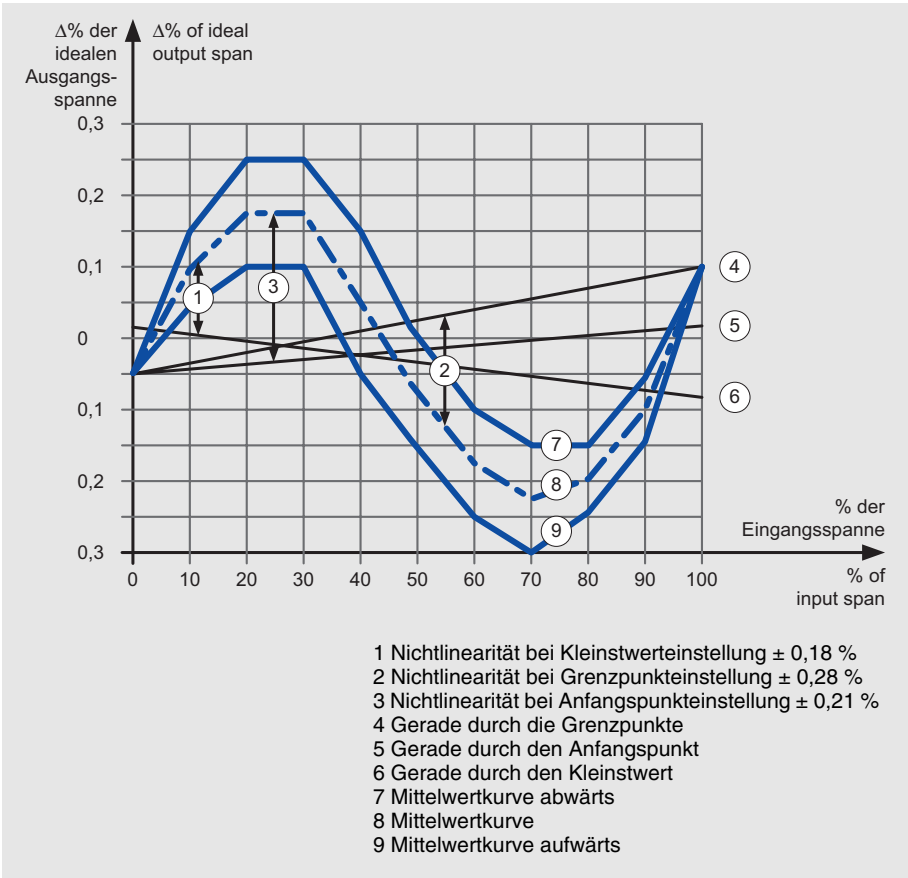




**Bild 10-2:** Darstellung der Sprungantwortzeiten

Die Messabweichung beinhaltet die Nichtlinearität, die Hysterese und die Nichtwiederholbarkeit. Sie bezieht sich auf die kalibrierte (eingestellte) Messspanne. Bei der Nichtlinearität muss angegeben werden, unter welchen Bedingungen sie ermittelt wurde. Nichtlinearität bei Grenzpunkteinstellung bedeutet, dass eine Gerade so durch die ermittelten Kalibrierdaten gelegt wird, dass sie den Anfangs- und Endpunkt schneidet. Die Abweichung von dieser Geraden wird als Nichtlinearität angegeben.

Bei der Kleinstwerteeinstellung wird eine Gerade so durch die Kalibrierkennlinie gelegt, dass die Abweichungen von dieser Geraden am kleinsten werden. Die Gerade muss nicht den Anfangs- oder Endwert der Kalibrierkurve schneiden. Die Nichtlinearität bei Anfangspunkteinstellung wird ermittelt, indem eine Gerade so eingezeichnet wird, dass sie die Kalibrierkurve im Anfangspunkt schneidet und die Abweichung von dieser Geraden am kleinsten ist.



**Bild 10-3:** Fehlerkurven

### Einflüsse von Betriebs- und Umgebungsbedingungen

Die Einflüsse aus den Betriebs- und Umgebungsbedingungen bewirken Abweichungen des Nullpunktes und der Messspanne. Die Messabweichung wird in der Regel davon nicht verändert oder der Einfluss ist so gering, dass er vernachlässigt werden kann. Bei diesen Einflüssen ist es wichtig darauf zu achten, auf welchen Wert sie bezogen werden. Bezugswerte können die maximale oder die eingestellte Messspanne des Messumformers sein.

Deshalb muss zu jeder Einflussgröße angegeben werden, worauf sie sich auswirkt, auf Nullpunkt, Messspanne oder beides und auf welche Größe sich der angegebene Wert bezieht. Etwas verallgemeinernd kann gesagt werden, dass die Einflüsse auf den Nullpunkt auf die maximale Messspanne und die Einflüsse auf die Messspanne auf die eingestellte Messspanne bezogen werden.

In den Datenblättern von ABB findet man folgende Angaben:

- Einfluss der Umgebungstemperatur.  
Er wird für alle Messumformer, unabhängig von der zu erfassenden Messgröße, angegeben und beschreibt, wie sich Veränderungen der Umgebungstemperatur auf den Nullpunkt und die Messspanne auswirken.
- Einfluss des statischen Drucks.  
Dieser Einfluss wird ausschließlich für Differenzdruck-Messumformer angegeben, weil hier der statische Druck nicht die eigentliche Messgröße ist. Dieser Einfluss kann Abweichungen des Nullpunktes und der Messspanne hervorrufen.
- Einfluss der Spannungsversorgung und Bürde.  
Diese beiden Einflüsse sind sehr gering. Deshalb wird dabei nicht nach Einfluss auf Nullpunkt und Messspanne unterschieden, sondern es wird ein Wert angegeben, der an jeder beliebigen Stelle des eingestellten Messbereichs auftreten kann.
- Einfluss der Einbaulage.  
Dieser Einfluss macht sich bei flüssigkeitsgefüllten Sensorsystemen bemerkbar, wenn die Einbaulage vor Ort von der Lage abweicht, in der der Messumformer bei Auslieferung kalibriert wurde. Dieser Einfluss lässt sich aber durch die am Messumformer vorhandenen Bedienelemente kompensieren.
- Langzeitstabilität.  
Die Langzeitstabilität liefert eine Aussage darüber, wie sich die Messgenauigkeit des Messumformers während der Einsatzzeit verändern darf. Die Angabe ist immer auf einen definierten Zeitraum bezogen. Es wird nicht nach Nullpunkt und Messspanne unterschieden, sondern es wird ein Wert angegeben, der an jeder beliebigen Stelle des eingestellten Messbereichs auftreten kann. Der angegebene prozentuale Wert bezieht sich auf die maximale Messspanne.
- Gesamtabweichung (Total Performance).  
Die Gesamtabweichung beschreibt die Messgenauigkeit des Messumformers unter realistischen Einsatzbedingungen. Es ist ein rechnerisch ermittelter Wert, der die Messabweichung und verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt. Die Einsatzbedingungen, die der Betrachtung zugrunde liegen, werden dabei genannt. Außerdem ist angegeben welche Formel zur Berechnung der Gesamtabweichung verwendet wurde. Wenn die Gesamtabweichung von Geräten unterschiedlicher Hersteller verglichen wird, ist deshalb darauf zu achten, dass die jeweils berücksichtigten Einflüsse gleich sind, genauso wie die zur Berechnung verwendete Formel.

## 10.6 Technische Spezifikation

Die technische Spezifikation befasst sich im Wesentlichen mit dem mechanischen Teil des Messumformers. Es werden die verfügbaren Werkstoffe für messmediumberührte Teile genannt, aber auch die Werkstoffe für Teile, die mit dem Messmedium nicht in Berührung kommen, wie Befestigungswinkel, Elektronikgehäuse usw. Die Verfügbarkeit von Prozessanschlüssen und die Angaben zur Varianz der elektrischen Anschlüsse vervollständigen das Thema.

## 10.7 Weitere Angaben

Der hohe Funktionsumfang moderner Druck-Messumformer macht es erforderlich, dass außer Messanfang und Messende eine Reihe weiterer zusätzlicher Parameter hinterlegt werden muss. Der Abschnitt Konfiguration beschreibt, wie diese Parameter werksseitig eingestellt werden (Default-Einstellung), wenn keine kundenspezifischen Vorgaben zum Auslieferzeitpunkt zur Verfügung stehen.

Weitere Bestandteile des Datenblattes sind die Maßbilder, Montageabmessungen und Bestellangaben.

# 11 Abschätzung der Gesamtabweichung an einer Messstelle

## 11.1 Einleitung

Jedes Messergebnis von Messgeräten wird durch sich verändernde Umgebungs- und Prozessbedingungen und durch die räumliche Anordnung der Messgeräte beeinflusst und somit verfälscht. Aus zwei Gründen ist es daher wichtig, eine Abschätzung der zu erwartenden Gesamtabweichung einer Messanordnung durchzuführen:

- Sicherstellung, dass eine gewählte Messanordnung die erforderlichen Prozessparameter mit der für den Prozess notwendigen Genauigkeit erfassen kann.
- Auswahl des Messumformers aus einer Anzahl unterschiedlicher Produkte, der für eine Messaufgabe bezüglich der zu erwartenden Gesamtabweichung am besten geeignet ist.

Für die Ermittlung der zu erwartenden Gesamtabweichung ist es zunächst einmal notwendig, die relevanten Umgebungs- und Prozessbedingungen zu kennen. Folgende Fragen sind dabei zu beantworten:

- In welchem Bereich ändert sich die Umgebungstemperatur?
- In welchem Bereich ändert sich die Prozessstemperatur?
- In welchem Bereich ändert sich der Prozessdruck?
- Ist der Messumformer an der Einbaustelle Schwingungen ausgesetzt?
- Ist die Energieversorgung konstant oder schwankt sie?
- Wirken elektromagnetische Einflüsse auf das Gerät ein?

Die Einflüsse und Rückwirkungen von Veränderungen der Umgebungs- und Prozessbedingungen auf den Messumformer sind in den technischen Daten der Hersteller spezifiziert. Für die Auswirkungen dieser Einflüsse auf das Ausgangssignal des Messumformers werden zulässige Grenzwerte angegeben, die das gelieferte Produkt nicht überschreitet.

Die Angabe der zulässigen Grenzwerte in den Datenblättern erfolgt in aller Regel als prozentualer Wert. In Abhängigkeit von ihrer Bezugsgröße lassen sie sich in drei Gruppen einteilen.

Die Bezugsgrößen sind:

- Ausgangssignalspanne.
- Maximale Messspanne.
- Eingestellte Messspanne.

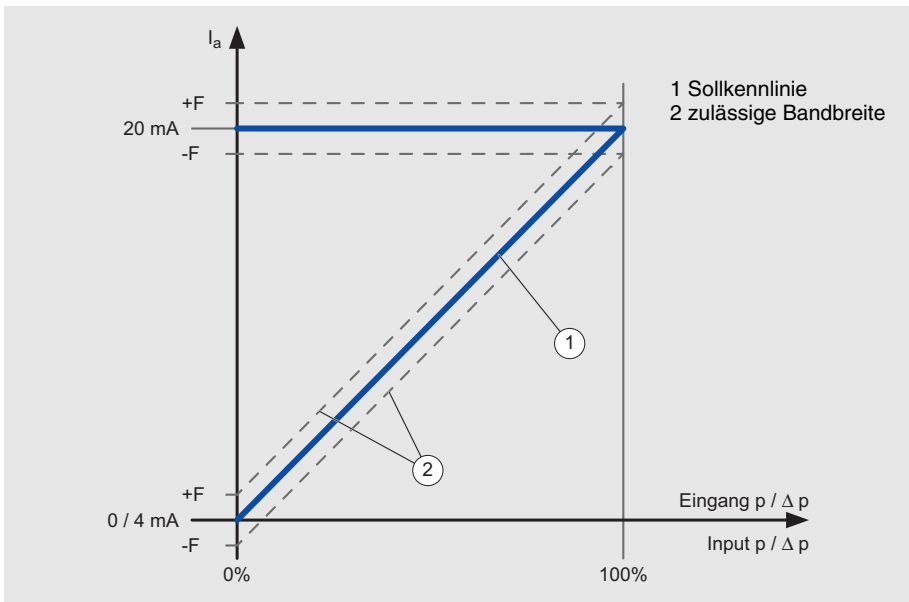
Bei der Ermittlung der Gesamtabweichung für eine Messstelle werden zunächst alle zu betrachtenden Einflüsse unter Berücksichtigung der Bezugsgröße und der tatsächlichen Betriebsbedingungen einzeln berechnet. Aus den so erhaltenen Einzelabweichungen wird dann die Gesamtabweichung bestimmt.

Auch wenn inzwischen in Datenblättern immer häufiger zusätzlich zu den einzelnen Einflüssen eine Gesamtabweichung (Total Performance) angegeben wird, kommt man oft um eine für den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene berechnete Abschätzung der Gesamtabweichung nicht herum. Das wird notwendig, wenn die vom Hersteller für die Berechnung der Total Performance zugrunde gelegten Randbedingungen anders sind, als an der vor Ort zu betrachtenden Messstelle.

Bevor hier eine Abschätzung beispielhaft durchgeführt wird, werden die Grundlagen der Abweichungsauswirkungen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bezugsgröße, auf das Ausgangssignal dargestellt.

## 11.2 Arten von Abweichungen

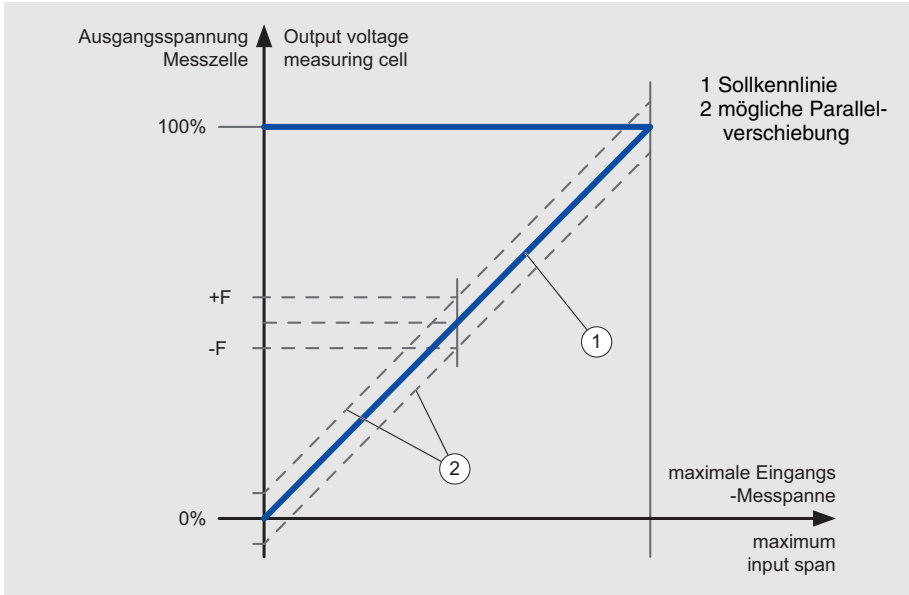
### 11.2.1 Bezugsgröße Ausgangsspanne



**Bild 11-1:** Abweichung des Ausgangs bei Einflüssen, die sich auf die Ausgangsspannsweite beziehen

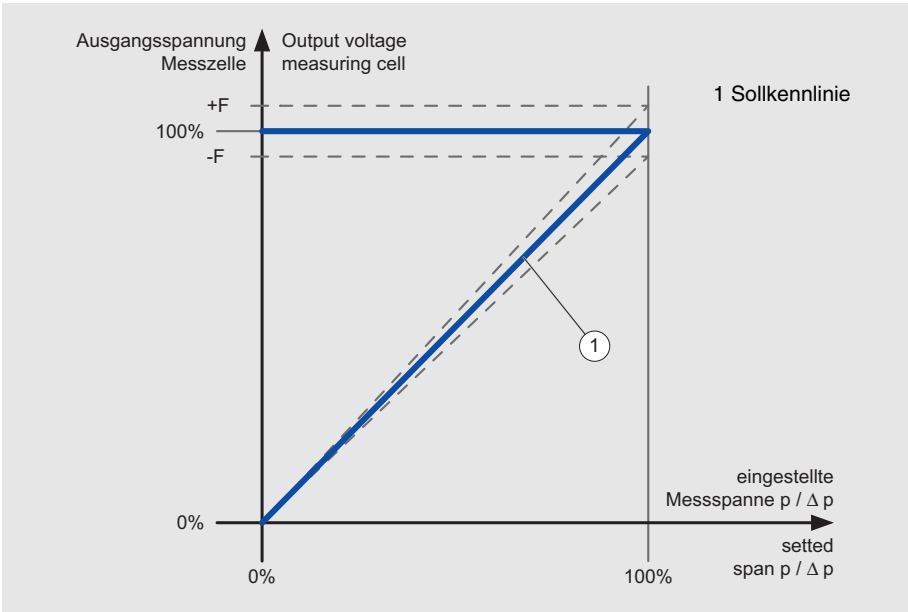
Werte, die sich auf die Ausgangssignalspanne beziehen, geben eine Bandbreite an, in der sich das Ausgangssignal um die ideale Sollkennlinie bewegen darf. Die Messabweichung und die Hysterese sind solche Werte, ebenso wie die Angaben des Einflusses von Spannungs- und Bürdenschwankungen.

### 11.2.2 Bezugsgröße maximale Messspanne



**Bild 11-2:** Abweichung des Ausgangs bei Einflüssen, die sich auf die maximale Messspanne beziehen

Alle Angaben zu den Einflüssen auf den Nullpunkt beziehen sich auf die maximale Messspanne (Messbereich). Abweichungen des Nullpunktes entstehen, wenn die Druck-Messzelle durch äußere Einflüsse aus der Nulllage verschoben wird, bei der die Kalibrierung durchgeführt wurde. Der im Betrieb anstehende zu messende Druck bzw. Differenzdruck verschiebt nun die Messzelle, ausgehend von dieser neuen Nulllage. Das bedeutet, die ursprüngliche Kennlinie der Druck-Messzelle wird um den Betrag der Abweichungen des Nullpunktes parallel verschoben.



**Bild 11-3:** Abweichung des Ausgangs bei Einflüssen, die sich auf die eingestellte Messspanne beziehen

Alle Angaben über Einflüsse auf die Messspanne beziehen sich auf die eingestellte Messspanne. Bei Geräten mit linearem Übertragungsverhalten kann die Steigung der Sollkennlinie durch das Verhältnis von Ausgangssignalspanne zu eingestellter Messspanne beschrieben werden.

Äußere Einflüsse auf die Messspanne, das kann z. B. der statische Druck oder die Umgebungstemperatur sein, bewirken, dass dieses Verhältnis geringfügig verändert wird und das Ausgangssignal 20 mA nicht mehr bei 100 % der Messspanne erreicht wird, sondern bei einem um die Messspannenabweichung vergrößerten oder verkleinerten Druck- bzw. Differenzdrucksignal.

Die Auswirkungen dieser Einflüsse sind im 100 %-Punkt am größten und verringern sich, bis sie im Nullpunkt wirkungslos geworden sind. Um diese Abweichungen am Gerät ermitteln und korrigieren zu können, ist es immer notwendig, den entsprechenden Druck bzw. Differenzdruck vorzugeben.



## 11.3 Beispielrechnung

Nach DIN 16086 „Elektrische Druckmessgeräte – Druckaufnehmer, Druckmessumformer, Druckmessgeräte – Begriffe und Angaben in Datenblättern“ wird die Gesamtabweichung errechnet, indem die ermittelten Einzelabweichungen nach folgender Gleichung quadratisch summiert werden:

$$F_{\text{pert}} = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 + (F_3)^2 + \dots + (F_x)^2}$$

Der erste Schritt der Berechnung der Gesamtabweichung ist die Festlegung der Randbedingungen, also Prozess- und Umgebungsbedingungen an der Messstelle, für die die Abschätzung durchgeführt werden soll.

### **Betrachtetes Gerät: Differenzdruck-Messumformer 266MST von ABB**

Maximale Messspanne	250 kPa
Eingestellte Messspanne	0 ... 125 kPa
Umgebungstemperatur an der Messstelle	50 °C
Kalibriertemperatur im Herstellerwerk	20 °C
Luftdruck	1013 mbar
Maximal mögliche Änderung der Umgebungstemperatur an der Messstelle	30 K
Statischer Druck	90 bar

Berücksichtigt werden in diesem Fall die Messabweichung, der Einfluss der Umgebungstemperatur und der Einfluss des statischen Drucks. Schwankungen von Versorgungsspannung und Bürde werden bei diesem Beispiel vernachlässigt, da sie nur einen sehr geringen Einfluss haben.

Für den Einfluss von Temperatur und Druck sind im Datenblatt des Messumformers folgende Grenzwerte angegeben:

Messabweichung bei Grenzpunkteinstellung: 0,04 %,

Einfluss der Umgebungstemperatur im Bereich -10...60 °C:  $\pm (0,06 \% \times \text{TD} + 0,05 \%)$ .

TD steht für Turn Down und wird berechnet aus:

$$\text{TD} = \frac{\text{maximale Messspanne}}{\text{eingestellte Messspanne}} = \frac{250 \text{ kPa}}{125 \text{ kPa}} = 2$$

Der erste Wert (0,06 %) gibt den Einfluss auf den Nullpunkt an ( $F_{\Delta\text{TZ}}$ ). Bezugsgröße dafür ist die maximale Messspanne. Deshalb muss dieser Wert umgerechnet werden, wenn er auf die eingestellte Messspanne bezogen werden soll. Er wird dazu mit dem Turn Down multipliziert.

Der zweite Wert (0,05 %) gibt den Einfluss auf die Messspanne an ( $F_{\Delta\text{TS}}$ ). Dafür ist die Bezugsgröße die eingestellte Messspanne. Eine weitere Umrechnung ist deshalb nicht erforderlich.

Bei der späteren Berechnung der Gesamtabweichung dürfen die Einflüsse auf Nullpunkt und Messspanne nicht getrennt betrachtet werden, sondern nur als Summe. Das wird bei der Angabe im Datenblatt dadurch zum Ausdruck gebracht, dass die beiden Einzeleinflüsse als Summe in einer Klammer geschrieben werden.

Für dieses Beispiel ergibt sich ein Temperatureinfluss von:

$$F_{\Delta T} = F_{\Delta TZ} + F_{\Delta TS} = 0,06 \% \cdot 2 + 0,05 \% = 0,17 \%$$

Diese Abweichung bezieht sich auf den eingestellten Messbereich.

Der Einfluss des statischen Drucks ist:

auf Nullsignal            0,05% bezogen auf maximale Messspanne,  
auf Messspanne        0,05% bezogen auf eingestellte Messspanne.

Da es sich um einen Differenzdruck-Messumformer handelt, kann man davon ausgehen, dass der Nullpunkt nach erfolgter Montage unter statischem Druck eingestellt wurde. Aus diesem Grund muss der Einfluss auf den Nullpunkt nicht berücksichtigt werden, da er durch die Einstellung eliminiert wurde. Somit wird in diesem Fall nur der Einfluss auf die Messspanne betrachtet. D. h., der Einfluss des statischen Drucks ist für dieses Beispiel:

$$F_{\Delta PS} = 0,05 \%, \text{ bezogen auf die eingestellte Messspanne}$$

Die Gesamtabweichung  $F_{\text{perf}}$  für diese Messstelle unter den betrachteten Umgebungs- und Betriebsbedingungen berechnet sich dann:

$$F_{\text{perf}} = \sqrt{F_{\Delta T}^2 + F_{\Delta PS}^2 + F_{\text{lin}}^2}$$

$$F_{\text{perf}} = \sqrt{0,17^2 + 0,05^2 + 0,04^2}$$

$F_{\text{perf}}$  = Gesamtabweichung

$F_{\Delta T}$  = Einfluss der Umgebungstemperatur

$F_{\Delta PS}$  = Einfluss des statischen Drucks auf das Nullsignal

$F_{\Delta PS}$  = Einfluss des statischen Drucks auf die Messspanne

$F_{\text{lin}}$  = Messabweichung

Ergebnis:

**$F_{\text{perf}} = 0,18 \%$**   
**bezogen auf die eingestellte Messspanne.**

Das ist die Gesamtabweichung, die der Messumformer mit der angegebenen maximalen Messspanne mit dem für diese Anwendung eingestellten Messbereich und den definierten Betriebsbedingungen bietet.

# 12 Vorschriften und Forderungen zur Produktsicherheit

## 12.1 Schutzarten nach EN 60529 (auszugsweise)

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

Sie umfasst:

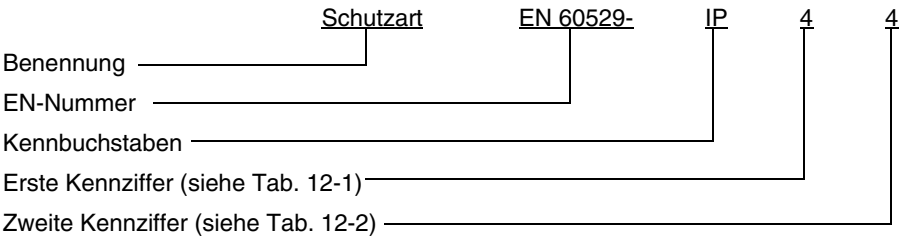
- Schutz von Personen gegen Berühren von betriebsmäßig unter Spannung stehenden Teilen oder gegen Annähern an solche Teile, sowie gegen Berühren sich bewegender Teile innerhalb von Betriebsmitteln (Gehäusen) und Schutz der Betriebsmittel gegen Eindringen von festen Fremdkörpern (Berührungs- und Fremdkörperschutz).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

### 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 beispielhaften Bezeichnung ist gegen das Eindringen von festen Fremdkörpern über 1 mm Durchmesser und gegen Spritzwasser geschützt.

Weicht die Schutzart eines Teils des Betriebsmittels, z. B. Anschlussklemmen, von der des Hauptteils ab, so ist die Schutzart des abweichenden Teils 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
0	kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 50 mm (große Fremdkörper) <sup>1)</sup> . 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) <sup>1)</sup> . Fernhalten von Fingern oder ähnlichen Gegenständen.
3	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 2,5 mm (kleine Fremdkörper) <sup>1) 2)</sup> . 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) <sup>1) 2)</sup> . 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) <sup>3)</sup> . Vollständiger Berührungsschutz.
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht). Vollständiger Berührungsschutz
<p><sup>1)</sup> 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.</p> <p><sup>2)</sup> Für die Schutzgrade 3 und 4 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern oder Kühlluftöffnungen in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.</p> <p><sup>3)</sup> Für den Schutzgrad 5 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.</p>	

**Tab. 12-1:** Schutzgrade für die erste Kennziffer

## Schutzgrade für den Wasserschutz

Zweite Kennziffer	Schutzgrad
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).
<p><sup>1)</sup> Dieser Schutzgrad bedeutet normalerweise ein luftdicht verschlossenes Betriebsmittel. Bei bestimmten Betriebsmitteln kann jedoch Wasser eindringen, sofern es keine schädliche Wirkung hat.</p>	

**Tab. 12-2:** Schutzgrade für die zweite Kennziffer

## 12.2 Anforderungen zur Störfestigkeit (EMV)

Die Elektroniken für Druck-Messumformer 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 zunehmend Elektroniken mit Schaltnetzteilen ausgestattet. Damit die Funktion und Störsicherheit gegeben ist, werden die Elektroniken 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 zugehörige Konformitätserklärung.

Auf nationaler Ebene ist die 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.

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

### Störungsarten

Bei der EMV wird zwischen zwei verschiedenen Störungen unterschieden:

- Die leitungsgebundene Störung wird direkt von der Störquelle über die Versorgungs- oder Signalleitung zur Störsecke 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 Störsecke übertragen und können dort beispielsweise von einer, als Antenne funktierenden 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 ergeben sich periodische Spannungs- und Stromänderungen. Die zeitlich variablen Ströme und Spannungen an der Störquelle bedingen magnetische bzw. elektrische Felder, über die ein Störsignal an der Störquelle 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.

## 12.3 Explosionsschutz

Für die Auslösung einer Explosion müssen zwei Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sein. Es muss ein explosionsfähiges Gemisch vorhanden sein und es muss eine Zündquelle vorhanden sein, die die Zündung des Gemisches auslöst.

Zur Verhinderung von Explosionen muss dafür Sorge getragen werden, dass zumindest eine dieser Bedingungen nicht erfüllt ist. Für die Messgeräte bedeutet das, dass sie so konstruiert und betrieben werden, dass sie nicht als Zündquelle in Frage kommen. Das lässt sich durch verschiedenartige Schutzmassnahmen, sogenannte Zündschutzarten, erreichen.

### 12.3.1 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	Osteuropa	China	Australien
Richtlinie / Norm / Zulassungsstelle	94/9/EG (ATEX) – PTB – EXAM BBG – KEMA – TÜV Nord – ZELM – IBEU ...	FM Approvals	CSA-Certificate	GOST Russland Ukraine Kasachstan Weissrussland	NEPSI	IECEX
Gültigkeit	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung	Ca. 3 Jahre	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung
Fertigungsüberwachung / Audit	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja

**Tab. 12-3:** 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.



## 12.3.2 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	$< 200 \mu\text{J}^1$	Methan in Luft	Schlagwetterschutz
II A	$< 160 \mu\text{J}^1$	Propan in Luft	Explosionsschutz
II B	$< 60 \mu\text{J}^1$	Ethylen in Luft	
II C	$< 20 \mu\text{J}^1$	Wasserstoff in Luft	

<sup>1)</sup> Verdopplung der Energiewerte zulässig, wenn die Ladespannung  $< 200 \text{ V}$  ist.

Tab. 12-4: 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	Acetaldehyd Ethyläther		
II B	Kohlenmonoxid	Ethylen	Schwefelwasserstoff	Ethylether Butylether		
II C	Wasserstoff	Acetylen				Schwefelkohlenstoff

Tab. 12-5: 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 entflammables 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. 12-6:** 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 IEC/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 (IEC/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 (IEC/EN 60079-10-2)**

**Zone 20:** Bereich, in dem eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub *ständig, über lange Zeiträume, oder häufig vorhanden ist.*

**Kategorie: 1 D**

**Zone 21:** Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem 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 brennbarem 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 Auslegungsparameter 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.

<b>IEC / EU</b>	Zone 0	Zone 1	Zone 2
<b>US NEC505</b>	Zone 0	Zone 1	Zone 2
<b>US NEC500</b>	Division 1		Division 2
<b>CA CEC Section 18</b>	Zone 0	Zone 1	Zone 2
<b>CA CEC Annex J</b>	Division 1		Division 2

**Tab. 12-7:** 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)

<b>Explosionsgruppe US NEC500 CA CEC Annex J</b>	<b>Explosionsgruppe US NEC505 CA CEC Section 18 EU IEC</b>	<b>Testgas</b>	<b>Bereich</b>
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. 12-8:** Aufstellung der Explosionsgruppen nach US/CA-Normen

**Temperaturklassen gemäß NEC500 (USA) und CEC Annex J (Kanada)**

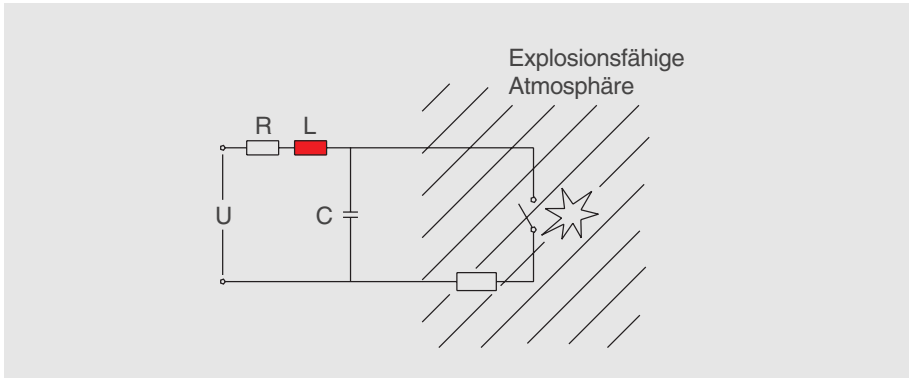
<b>Max. Oberflächen-Temperatur</b>	<b>US NEC505 CA CEC Section 18 EU IEC</b>	<b>US NEC 500 CA CEC Annex J</b>
450 °C	T1	T1
300 °C	T2	T2
280 °C		T2A
260 °C		T2B
230 °C		T2C
215 °C		T2D
200 °C	T3	T3
180 °C		T3A
165 °C		T3B
160 °C		T3C
135 °C	T4	T4
120 °C		T4A
100 °C	T5	T5
85 °C	T6	T6

**Tab. 12-9:** Temperaturklassen-Einteilung nach US/CA-Normen

### 12.3.3 Zündschutzarten in Europa (ATEX)

#### Zündschutzart Eigensicherheit „i“ gemäß 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 12-1:** Schemadarstellung Eigensicherheit

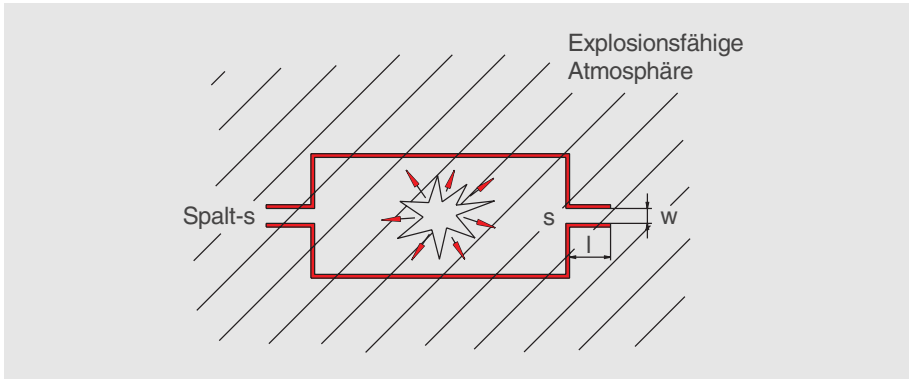
Bei Eigensicherheit unterscheidet man zwei Kategorien:

- 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 „d“ gemäß EN 60079-1

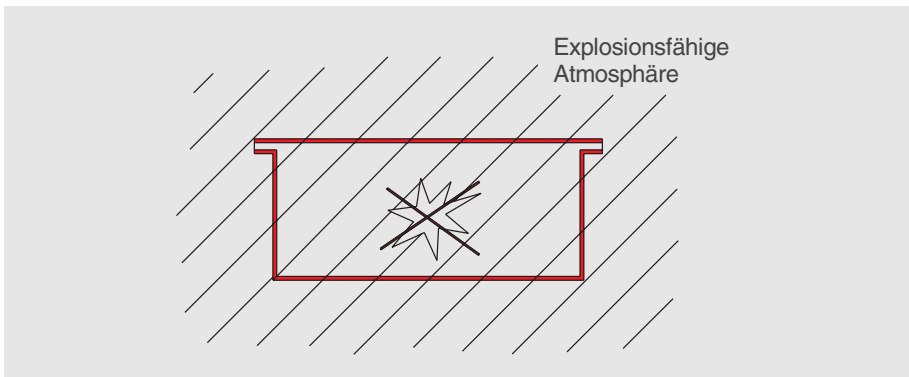
Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemisches im Inneren den Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende Atmosphäre durch spezielle Geometrie der Spalte verhindert.



**Bild 12-2:** Schemadarstellung Druckfeste Kapselung

## Zündschutzart Erhöhte Sicherheit „e“ gemäß EN 60079-7

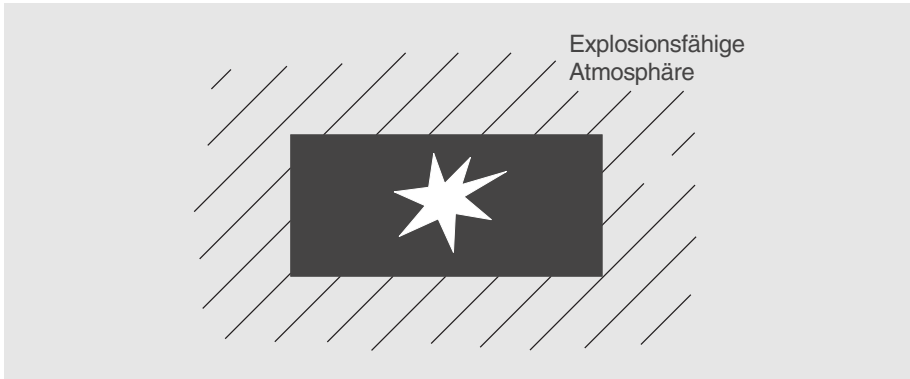
Hier sind zusätzliche Maßnahmen getroffen, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen im Inneren oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern.



**Bild 12-3:** Schemadarstellung Erhöhte Sicherheit

### Zündschutzart Vergusskapselung „m“ gemäß EN 60079-18

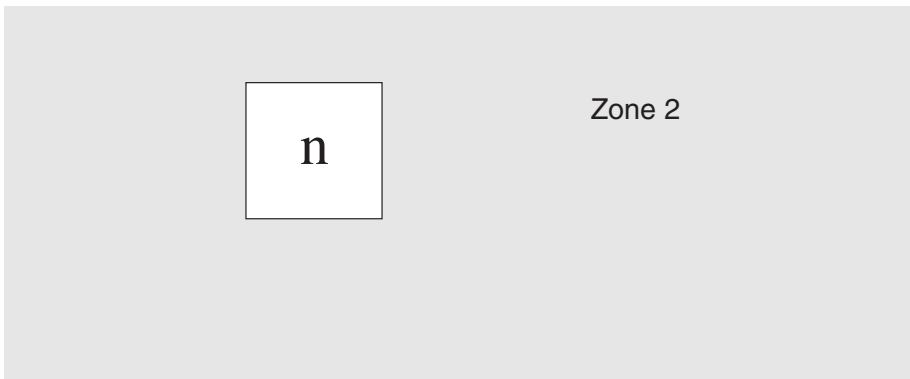
Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, werden so in eine gegenüber Umgebungseinflüssen genügend widerstandsfähige Vergussmasse eingebettet, dass die explosionsfähige Atmosphäre weder durch Funken noch durch Erwärmung, die innerhalb der Vergusskapselung entstehen können, gezündet werden kann.



**Bild 12-4:** Schemadarstellung Vergusskapselung

### Zündschutzart Nicht funkende Betriebsmittel „nA“ gemäß 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 12-5:** Schemadarstellung Nicht funkende Betriebsmittel

### 12.3.4 Kennzeichnung von Betriebsmitteln

Betriebsmittel für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen müssen vom Hersteller eindeutig gekennzeichnet werden. Sie sind gemäß EN 60079-0 / 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).

### 12.3.5 Nachweis der Eigensicherheit

Bei der Zusammenschaltung von eigensicheren Stromkreisen ist nach EN60079-14 der Nachweis der Eigensicherheit zu führen.

Hierbei unterscheidet man zwei Fälle:

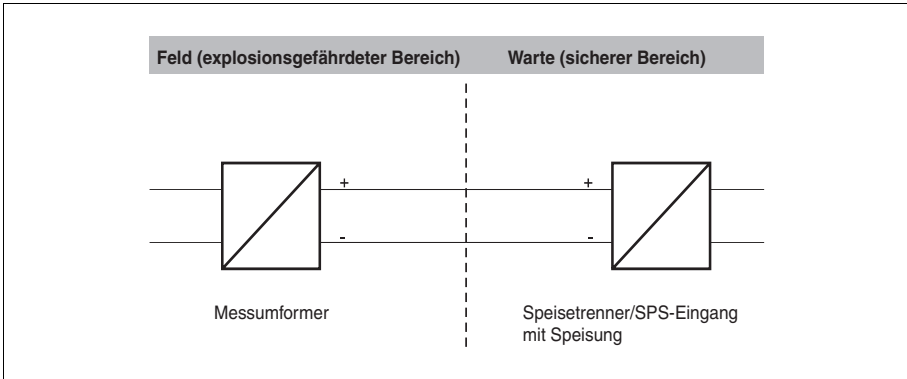
- Einfacher eigensicherer Stromkreis mit nur einem aktiven, zugehörigem und einem passiven, eigensicheren Betriebsmittel ohne weitere Versorgung.
- Mehrere aktive Betriebsmittel, welche im Normalbetrieb oder im Fehlerfall elektrische Energie in den eigensicheren Stromkreis liefern können.

#### Einfache eigensichere Stromkreise

Sie können durch ein Vergleichen der elektrischen Anschlusswerte aus der jeweiligen Baumusterprüfbescheinigung durch die verantwortliche Person überprüft werden.

Die Eigensicherheit der Zusammenschaltung ist eingehalten, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

eigensicheres Betriebsmittel plus Kabel z.B. ABB-Messumformer		zugehöriges Betriebsmittel z.B. Speisetrenner/SPS-Eingang
$U_i$	$\geq$	$U_o$
$I_i$	$\geq$	$I_o$
$P_i$	$\geq$	$P_o$
$L_i + L_c$ (Kabel)	$\leq$	$L_o$
$C_i + C_c$ (Kabel)	$\leq$	$C_o$



**Bild 12-6:** Schemadarstellung eines einfachen eigensicheren Stromkreises

Der Überprüfungs-Nachweis sollte übersichtlich dokumentiert werden. Neben Datum und Name des Prüfers sollte auch noch die anlagenspezifische Dokumentation mit aufgenommen werden, d. h. Stromkreisbezeichnung, Klemmleisten, Kabeltrassenbelegung, Schalt- und Klemmschränke, etc.

### **Zusammenschaltung von mehreren aktiven Betriebsmitteln**

Sie unterscheidet sich grundsätzlich vom vorherigen Fall. Zum Beispiel hat die Zusammenschaltung von mehreren aktiven eigensicheren Stromkreisen der Kategorie „ia“ zur Folge, dass der gemeinsame Stromkreis als eigensicherer Stromkreis der Kategorie „ib“ eingestuft wird. Somit ist ein Betrieb in Zone 0 nicht mehr möglich.

Eine ausführliche Erläuterung zu dieser Art der Zusammenschaltung ist im Anhang A und B der EN60079-14 dokumentiert. Zusätzlich werden die Zündgrenzkurven der EN 60079-11 bzw. EN50020 benötigt. Siehe auch EN 60079-25.

Eine weitergehende Behandlung ist in der Regel Sache von „Befähigten Personen“ und nicht Bestandteil dieses Handbuchs.

### **Zusammenschaltung von eigensicheren Stromkreisen mit nichtlineare Kennlinien**

Hierbei sind gesonderte Verfahren zu beachten. Diese sind in der EN 60079-25 ausführlich beschrieben.

Eine weitergehende Behandlung ist in der Regel Sache von „Befähigten Personen“ und nicht Bestandteil dieses Handbuchs.

## 12.4 SIL - Funktionale Sicherheit

Im norditalienischen Ort Seveso setzte im Juli 1976 ein Giftgasunfall hochgiftiges Dioxin (TCDD) frei, bei dem erhebliche Schäden für Mensch und Umwelt entstanden. Auslöser war eine unkontrollierte Überhitzungsreaktion, die durch Überdruck eine Sicherung zerstörte. Automatische Kühlsysteme für den Reaktor fehlten. Zum Zeitpunkt des Störfalls befand sich kein Chemiefachpersonal im Werk. Nur ein Zufall verhinderte den Austritt einer noch größeren Giftstoffmenge.

Konsequenz war eine Verschärfung der Gesetze und Verordnungen zum Schutz von Mensch, Lebewesen und Umwelt. Mitte der 80er Jahre führt die Europäische Union die Seveso I-Richtlinie ein, die später durch die Seveso II-Richtlinie (96/82/EU) ersetzt wurde. Damit änderten sich die EU-rechtlichen Bestimmungen für Anlagen mit großem Gefahrenpotenzial. Die deutsche Umsetzung der Richtlinie 96/82/EG erfolgte durch die Störfallverordnung im Bundes-Immissionsschutzgesetz (12. BImSchV) vom 26. April 2000. Die Störfallverordnung verwies bis zum 31. 7. 2004 auf die DIN 19250 und 19251, in denen die Anforderungsklassen AK 1-8 zur Umsetzung der geforderten Maßnahmen definiert waren.

Ab dem 1. 8. 2004 bietet die DIN EN 61508 die national in der Störfallverordnung geforderten Maßnahmen zur Risikobeurteilung und zum Nachweis von sicherheitsgerichteten Anlagen. Die internationale Norm IEC 61508 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/ elektronischer/ programmierbar elektronischer Systeme (E/E/PES)“ dient als Basisnorm für die Funktionale Sicherheit in allen industriellen Bereichen. Sie definiert Sicherheit als „Teil der Gesamtsicherheit, die von der korrekten Funktion eines sicherheitsbezogenen E/E/PE-Systems, sicherheitsbezogenen Systemen anderer Technologie und externen Einrichtungen zur Risikominderung abhängt“. Sie bildet die Grundlage für weitere IEC-Sicherheitsnormen wie z. B. DIN EN 61511. Diese Normen definieren vier Sicherheitsstufen (SIL1 bis SIL4), die die Maßnahmen zur Risikobeherrschung von Anlagenteilen beschreiben.

Sicherheit spielt überall dort eine Rolle, wo Risiken reduziert werden müssen.

*„Das Risiko ist ein Maß für die Schwere negativer Folgen und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens.“*

Dabei ist folgende Frage zu beantworten:

*„Wie oft kann etwas passieren, und welche Auswirkungen könnte es haben?“*

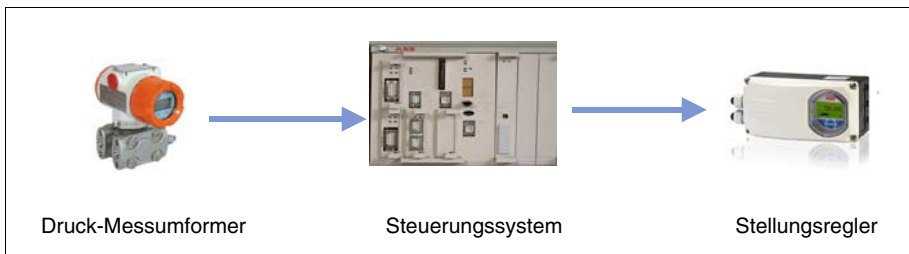
Fast alle Geräte, Vorrichtungen und Materialien einer Anlage bergen ein gewisses Eigenrisiko, das zum inhärenten Risiko der Anlage beiträgt. Die umfassende Bewertung des Gesamtprozesses ermöglicht die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit. Anhand der Art und Anzahl lässt sich das mögliche Schadensausmaß des Risikos identifizieren. Die Risikoidentifizierung bildet die Grundlage für die Erhaltung bzw. Verbesserung der Sicherheit. Es ist sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch das Schadensausmaß sorgfältig zu prüfen.

Es sollte ein Modell zur Risikobewertung von einem dafür zusammengestellten Team erarbeitet werden, dem u. a. auch Anwälte und Ingenieure angehören. Bei der Erarbeitung des Modells werden die Richtlinien des Unternehmens berücksichtigt. Das Team spezifiziert und quantifiziert in dem Modell die Wahrscheinlichkeit (Häufigkeit), mit der ein Ereignis eintreten kann, sowie dessen mögliches Ausmaß (Schwere) und legt den Bereich des tolerierbaren Risikos fest. Das Modell muss eine Methode zur Bewertung des Schadensausmaßes festlegen und für jede Risikoklasse die etwaigen Konsequenzen definieren.

Ebenso müssen vom Betreiber einer Anlage die Kriterien für das tolerierbare Risiko festgelegt werden. Nach Durchführung einer Risikoanalyse kann er den Bereich des tolerierbaren Risikos einschätzen. Nach der IEC 61511 und anderen nationalen Sicherheitsnormen gilt ein Risiko als tolerierbar, wenn es aufgrund der gesellschaftlichen Werte und Erwartungen in einem bestimmten Zusammenhang akzeptiert wird. Nachdem der Anlagenbetreiber das tolerierbare Risiko identifiziert hat, trifft er alle nötigen Vorkehrungen, um das Anlagenrisiko innerhalb des tolerierbaren Bereichs zu halten.

Durch hohe Anlagensicherheit gewährleistet der Anlagenbetreiber den Schutz der Umwelt, seiner Mitarbeiter und des Materials vor Schäden durch „nicht-kontrollierbare“ Ereignisse. Die Einführung eines Sicherheitskonzepts gemäß den anerkannten internationalen Sicherheitsnormen bewahrt den Anlagenbetreiber im Schadensfall vor dem Vorwurf unzureichender Unfallverhütung und vor Schadenersatzansprüchen.

In der Prozessindustrie ist es seit vielen Jahren üblich, durch sicherheitstechnische Systeme ein hohes Niveau der Anlagensicherheit zu gewährleisten. Ein sicherheitstechnisches System umfasst all seine Komponenten. Angefangen bei den Sensoren / Messumformern über das Steuerungssystem bis hin zu den Stalleinrichtungen.



**Bild 12-7:** Komponenten eines sicherheitstechnischen Systems

In der Vergangenheit sind für die einzelnen Komponenten Geräte eingesetzt worden, für die der Nachweis der Betriebsbewährung durch den Anwender oder durch den Hersteller erfolgte. In der IEC 61511-1 sind die Anforderungen beschrieben, die betriebsbewährte Geräte erfüllen müssen, wenn sie für sicherheitstechnische Systeme eingesetzt werden sollen. Es muss in geeigneter Weise nachgewiesen werden, dass die Komponenten und Teilsysteme für den Einsatz im sicherheitstechnischen System geeignet sind.

Der Nachweis muss Folgendes enthalten:

- Berücksichtigung des Qualitätsmanagements.
- Geeignete Identifizierung und Spezifikation.
- Eine Betrachtung der Leistungsfähigkeit der Komponenten oder Teilsysteme bei vergleichbaren Betriebseigenschaften in einer ähnlichen Umgebung.
- Den Umfang der Betriebserfahrung für Feldgeräte. Informationen bezüglich der Betriebserfahrung werden bei Feldgeräten in Form von Standardgerätelisten der Anwender festgehalten und vor Ort laufend auf Stand gehalten und überwacht.

Der Nachweis der Betriebsbewährung ist bei neu entwickelten Geräten unmöglich, da die ausreichend lange Felderfahrung nicht vorliegen kann. Bei den inzwischen üblichen kurzen Geräte-Entwicklungszyklen besteht deshalb immer weniger die Möglichkeit die Betriebsbewährung von Geräten ausschließlich aufgrund von Erfahrungen / Aufzeichnungen aus dem praktischen Betrieb zu beurteilen.

Wenn aber bereits während der Hardware- und Software-Entwicklung bzw. Konstruktion dieser Geräte die Forderungen der genannten IEC-Standards eingehalten werden, ist durch theoretische und praktische Überprüfungen auch bei Geräte-Neuentwicklungen die Möglichkeit gegeben, die für den Einsatz in Sicherheitssystemen notwendigen Kennzahlen zu ermitteln und die Eignung der Geräte festzustellen.

### **FMEDA-Prüfung**

Ein wesentlicher Teil der praktischen Überprüfung ist die FMEDA (Failure Mode, Effect and Diagnostics Analysis).

Hierbei wird eine vorgegebene Hardware auf eine bestimmte Anwendung hin untersucht. Es wird z. B. die Hardwarestruktur der Elektronik genau untersucht. Zusammen mit der Betrachtung der mechanischen/elektromechanischen Bauteile können so die Fehlerraten des Gerätes bestimmt werden, die für die Betrachtung bezüglich SIL benötigt werden.

Zur Klassifizierung der Geräte nach SIL werden im Wesentlichen drei Kenngrößen herangezogen, die sich aus der FMEDA errechnen:

- Fehlertoleranz HFT (Hardware Fault Tolerance).
- Anteil ungefährlicher Ausfälle SFF (Safe Failure Fraction).
- Gefährliche Versagenswahrscheinlichkeit PFD (Probability of Failure on Demand).

## Fehlertoleranz HFT

Die HFT eines Gerätes beschreibt die Güte einer Sicherheitsfunktion:

- HFT = 0  
Ein einzelner Fehler kann zum Sicherheitsverlust führen.
- HFT = 1  
Mindestens zwei Fehler müssen gleichzeitig auftreten, um einen Sicherheitsverlust zu verursachen.
- HFT = 2  
Mindestens drei Fehler müssen gleichzeitig auftreten, um einen Sicherheitsverlust zu verursachen.

## Anteil ungefährlicher Ausfälle SFF

Der SFF beschreibt den Anteil an ungefährlichen Ausfällen eines Gerätes. Ein Wert von 79 % bedeutet beispielsweise, dass 79 von 100 Ausfällen des Gerätes in Bezug auf die Sicherheitsfunktion unbedenklich sind. Zusammen mit der Fehlertoleranz HFT wird festgelegt, in welchem Risikobereich das Gerät unter Berücksichtigung dieser beiden Werte eingesetzt werden darf:

	HFT		
SFF	0	1	2
< 60 %	–	SIL1	SIL2
60-90 %	SIL1	SIL2	SIL3
90-99 %	SIL2	SIL3	SIL4
> 99 %	SIL3	SIL4	SIL4

## Gefährliche Versagenswahrscheinlichkeit PFD

Die PFD ist ein weiteres Maß zur Beurteilung, in wieweit sich ein Gerät in sicherheitsgerichteten Anlagenteilen einsetzen lässt. Der Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Sicherheitsfunktion, bezogen auf ein Zeitintervall, ausfällt. Die Tabelle zeigt, welche Versagenswahrscheinlichkeiten welchen SIL-Einstufungen entsprechen:

PFD average	HFT
$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1}$	SIL1
$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2}$	SIL2
$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3}$	SIL3
$\geq 10^{-6} \dots < 10^{-4}$	SIL4

## Praktische Umsetzung bei Druck-Messumformern

Neben der Ermittlung der oben beschriebenen Kenngrößen durch die FMEDA werden bei der Qualifizierung der Geräte weitere, allgemeine Sicherheitsbetrachtungen durchgeführt. In der sogenannten GAP-Analyse wird der bestehende Produkt-Entwicklungsprozess auf Einhaltung der Anforderungen bezogen auf DIN EN 61508 überprüft.



Hierbei werden insbesondere die Firmware, die Produktdokumentation sowie die Teststrategien eingehend untersucht. Außerdem wird das Gerät auf den Einfluss von externen Störgrößen überprüft, z. B. EMV, Umwelt, elektrische Störungen.

Inzwischen bieten nahezu alle Hersteller von Druck-Messumformern Produkte an, die durch Konformitätsbescheinigung, Assessment oder Zertifikat, die Eignung für den Einsatz in Sicherheitskreisen nachweisen. Dabei werden zur Beurteilung von Qualitätsunterschieden, außer den bei Messumformern üblichen Werten, wie Genauigkeit, auch die sicherheitstechnischen Kennwerte herangezogen.

ABB hat speziell für die Anforderungen in Sicherheitskreisen entwickelte Messumformer zur Messung von Absolutdruck, Überdruck und Differenzdruck bzw. den daraus ableitbaren Messgrößen Durchfluss und Füllstand im Portfolio. Der TÜV hat diesen Messumformern bescheinigt, dass sie die Anforderungen für den Einsatz in SIL3-Kreisen erfüllen, wenn sie in einer 1 von 2-Auswahlschaltung (1oo2) eingesetzt werden.

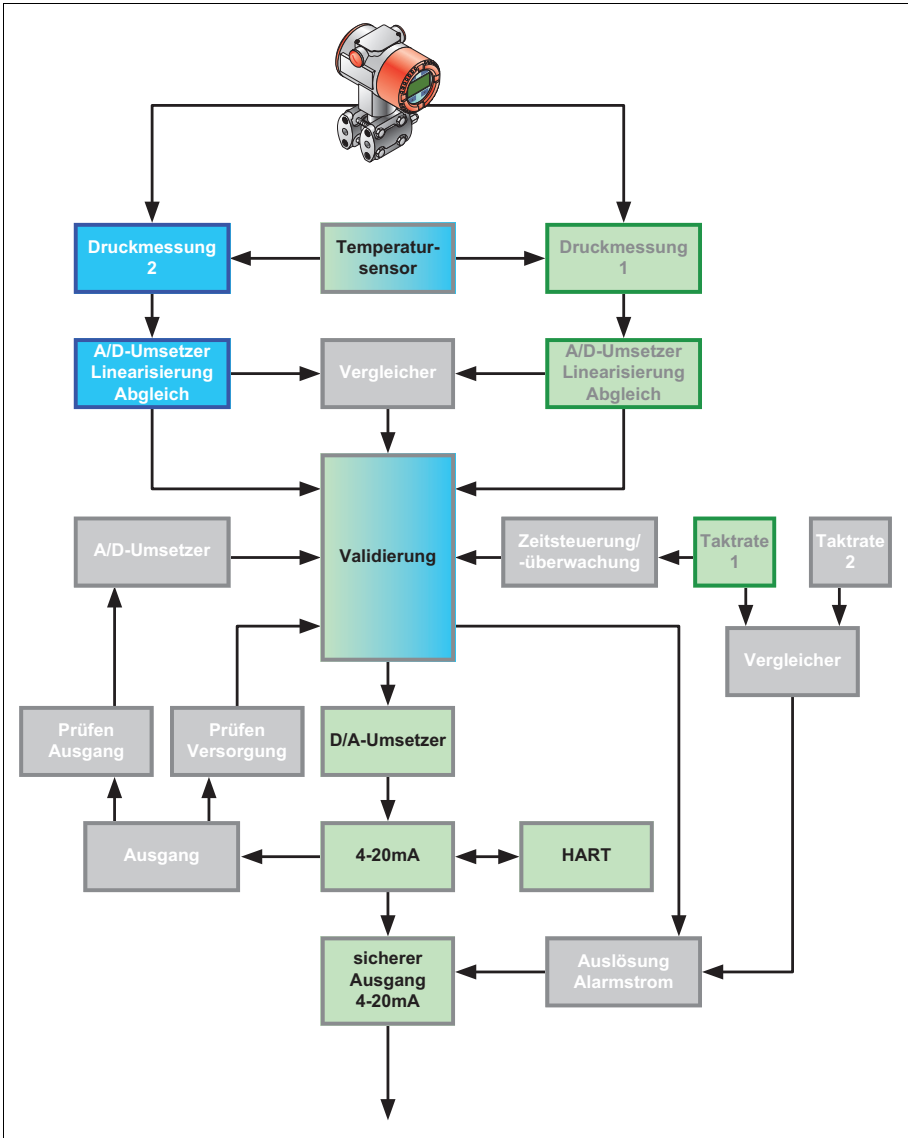
Dabei ist die Elektronik weitgehend redundant aufgebaut, wodurch eine umfangreiche Selbstdiagnose ermöglicht wird. Das führt dazu, dass interne Fehler, die die Sicherheit beeinträchtigen können, vom Gerät selbst erkannt und signalisiert werden. Deshalb ist diesen Messumformern eine Fehlertoleranz mit einem HFT-Wert von 1 bescheinigt. Das erlaubt häufig die Reduzierung der Anzahl der für eine Sicherheitseinrichtung notwendigen Messumformer gegenüber der Verwendung von Geräten mit einem HFT-Wert von 0.



**Bild 12-8:** Differenzdruck-Messumformer für Schutzeinrichtungen Typ 268DS von ABB

Eventuell auftretende Fehler werden in der Weise signalisiert, dass das Ausgangssignal in einen Bereich gesteuert wird, der außerhalb des normalen Signalbereichs von 4...20 mA liegt. Dabei kann gewählt werden, ob das Fehlersignal größer als 20 mA oder kleiner als 4 mA sein soll, je nachdem, welches Signal für den Prozess als sicher angesehen wird. Dieser Strom wird als Alarmstrom bezeichnet. Die dabei wählbare Signalgröße entspricht den NAMUR-Empfehlungen der chemischen Industrie und kann auf Werte = 3,6 mA einerseits und = 21 mA andererseits eingestellt werden (siehe auch Kapitel 10.4).

Im folgenden Schema ist der redundante Aufbau und die grundsätzliche Funktion eines Messumformers für den Einsatz in Schutzeinrichtungen dargestellt. Der grüne Bereich stellt den eigentlichen Messkanal dar. Der blaue Bereich ist der interne Redundanzkanal und der graue Bereich zeigt die internen Überwachungsblöcke.



**Bild 12-9:** Architektur der Druck-Messumformer für Schutzeinrichtungen Typ 268 von ABB

Die Redundanz beginnt bereits am Sensor selbst, der mit zwei Induktivitäten aufgebaut ist, die jede für sich ein druckproportionales Signal liefert.

Die Überwachungsroutrinen vergleichen im Wesentlichen die verschiedenen Werte in den redundanten Kanälen. Außerdem wird das vom Messumformer ausgegebene Stromsignal wieder eingelesen und mit dem errechneten Sollwert verglichen, damit die interne Diagnose wirklich bis zum letzten Bauelement durchgeführt werden kann.

## **12.5 Druckgeräterichtlinie 97/23/EG**

### **Einführung**

Die EU-Richtlinie für Druckgeräte 97/23/EG (**Druckgeräterichtlinie DGRL**) 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 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.

### **Anwendungsbereich**

Die Druckgeräterichtlinie 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 Druckgeräterichtlinie 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 Erwä-

gungen 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 Druckgeräterichtlinie fallen, deren Anforderungen aber nicht erfüllen, nicht in Verkehr gebracht werden.

### **Kennzeichnung und Konformitätserklärung**

Druckgeräte, die den Anforderungen und Bestimmungen der Druckgeräterichtlinie 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 Druckgeräterichtlinie bei ABB**

ABB setzt die EU-Richtlinie für Druckgeräte u. a. für seine Druck-Messumformer konsequent um und ist daher berechtigt, entsprechende Konformitätserklärungen zu erstellen.

# 13 Anwendung von Druck-Messumformern

Druck-Messumformer werden in nahezu allen Industriebereichen für unterschiedlichste Applikationen eingesetzt.

Nachfolgend wird für wesentliche Anwendungsbereiche beschrieben, welche Produkteigenschaften der Druck- und Differenzdruck-Messumformer dabei eine besondere Rolle spielen, und für welche messtechnischen Aufgaben sie Verwendung finden:

- Alle Arten von Kraftwerken im Bereich Energieerzeugung.
- Offshore- und Onshore-Anlagen in der Öl- und Gasindustrie.
- Chemische Industrie.
- Papiererzeugende Industrie.

## 13.1 Energieerzeugung



### Durchflussmessung von Abgas

Bei der Durchflussmessung von Abgas müssen sehr geringe Differenzdrücke erfasst werden. Messbereiche bis herunter zu 0,05 kPa lassen sich mit Differenzdruck-Messumformern von ABB problemlos realisieren.

Ebenso ist der zu messende Überdruck sehr klein, nämlich in der Größenordnung von 0,2 kPa. Dafür können Überdruck-Messumformer eingesetzt werden, die selbst bei diesen kleinen Messspannen bis zu 1 MPa überlastbar sind. Für die notwendige Korrosionsbeständigkeit werden bei Überdruck- und Differenzdruck-Messumformer die messmediumberührten Trennmembranen aus Hastelloy C verwendet.

### **Durchfluss- und Druckmessung in Feuerungsanlagen**

In der Feuerungsanlage wird Durchfluss und Druck von Brennstoff und Verbrennungsluft gemessen. Diese Messung erfordert ebenfalls sehr kleine Messbereiche, sowohl für Differenzdruck als auch für Überdruck. Für Differenzdruck-Messumformer, die zur Durchflussmessung eingesetzt werden, steht eine Schleichmengenunterdrückung zur Verfügung. Sie hält bei sehr kleinen Eingangssignalen das Ausgangssignal des Messumformers bis zum einstellbaren Wert der Unterdrückung sicher auf Null, so dass evtl. angeschlossene Zähler keine Fehlmengen erfassen können.

### **Durchflussmessung im Speisewasser- und Dampfsystem**

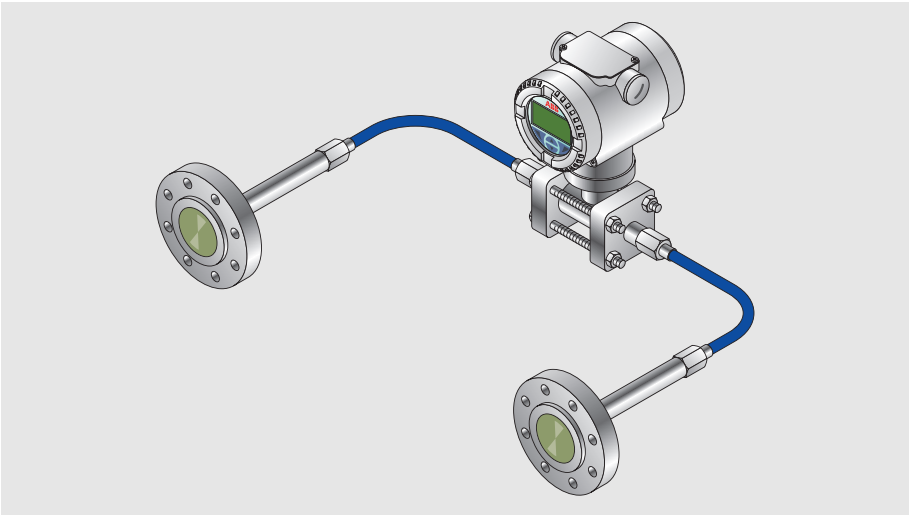
Im Speisewasser- und Dampfsystem eines Kraftwerkes wird Durchfluss bei zum Teil sehr hohem Druck gemessen. Diese Messung erfolgt wegen der hohen Temperaturen sehr häufig nach dem Wirkdruckverfahren mit Drosselgeräten, z. B. Blenden, Venturi-Rohre etc., unter Einbeziehung von Differenzdruck-Messumformern, mit radizierter Kennlinie.

Die Differenzdruck-Messumformer von ABB sind für bis zu 60 MPa statischen Druck ausgelegt und daher besonders geeignet. Häufig ist bei diesen Messungen eine druck- und temperaturkompensierte Massemessung erforderlich. Dafür werden multivariable Messumformer eingesetzt, die Differenzdruck, Absolutdruck und Prozesstemperatur gleichzeitig in einem Gerät messen und daraus den Massedurchfluss berechnen.

### **Druck- und Füllstandmessung am Kondensator**

Am Kondensator sind Druck- und Füllstandmessungen notwendig. Bei beiden Messungen werden die Messumformer unter Vakuumbedingungen betrieben. Wird der Messumformers über Wirkdruckleitungen angeschlossen, führen die Vakuumbedingungen im Kondensator häufig dazu, dass die Höhe der Kondensatsäulen in den Wirkdruckleitungen schwankt. Das wiederum führt zu ungenauen Messungen.

Abhilfe schafft der direkte Anschluss des Messumformers an den Kondensator mit Druckfühlern. Die vollverschweißten Druckfühler von ABB sind zugeschnitten für diese Anwendungen und vermeiden die Probleme, die bei kondensatgefüllten Wirkleitungen entstehen, vollständig.



**Bild 13-1:** Differenzdruck-Messumformer für die Füllstandmessung am Kondensator

Die Stärken der Druck-Messumformer von ABB im Anwendungsbereich der Energieerzeugung sind:

- Hohe Messgenauigkeit zur Steigerung des Wirkungsgrades und Reduzierung von Aufwand und Kosten für Wartung.
- Sinnvolle Diagnosefunktionen, wie Überwachung von Prozesswerten oder Erkennung verstopfter Wirkdruckleitungen zur Unterstützung des störungsfreien Betriebs der Anlage.
- Austauschbare Elektronik mit automatischer Konfiguration zur Reduzierung der Reparaturzeit im Fehlerfall und dadurch Erhöhung der Anlageverfügbarkeit.
- Vollverschweißte Druckfühler sind in Standardausführung geeignet für den Einsatz unter Vakuumbedingungen.
- Kostengünstige Messung von druck- und temperaturkompensiertem Massedurchfluss durch multivariable Messumformer.

## 13.2 Öl- und Gasindustrie



### **Druckmessung an Separatoren**

Auf Offshore-Anlagen werden Druck-Messumformer an Separatoren sowohl zur Überdruck- und Absolutdruck-Messung, als auch zur Trennschichtmessung verwendet. Bei der Trennschichtmessung werden sehr kleine Differenzdruck-Messbereiche benötigt, da der Dichteunterschied der beiden zu messenden Stoffe in der Regel äußerst gering ist. Die Messumformer werden vorzugsweise mit Druckfühlern an die Behälter angeschlossen, um die bei der Verwendung von Wirkdruckleitungen häufig auftauchenden Probleme, z. B. Gasblasen in der Leitung, zu umgehen. Druckfühler von ABB sind speziell für diese Anwendungen mit kleinen Messbereichen ausgelegt.

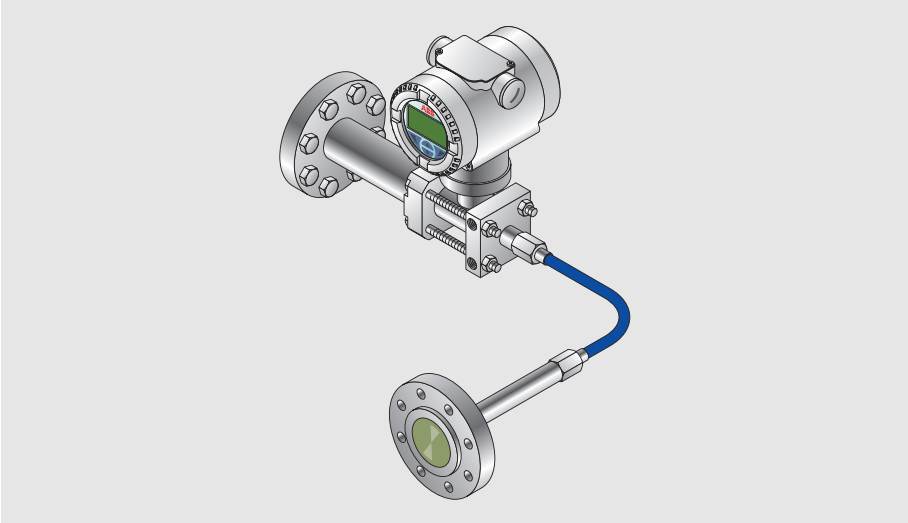
### **Füllstand- und Überdruckmessung in Feuerlöschanlagen**

Die Werkstoffe für Druck-Messumformer, die mit dem Prozessmedium in diesem Anwendungsbereich in Kontakt kommen, müssen eine hohe Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Zum Beispiel werden Membranen für Geräte aus Super-Duplex oder Inconel hergestellt. Dadurch wird eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Meerwasser erzielt.



## Druckmessung im Destillationsprozess

Der Destillationsprozess von Rohöl erfordert Druckmessungen am Kopf der Kolonnen bei Temperaturen bis zu 375 °C. Außerdem sind Füllstand- und Trennschichtmessungen erforderlich, die trotz Vakuumbedingungen bei hohen Temperaturen durchgeführt werden müssen. Auch hier sind Druck-Messumformer mit Druckfühlern von ABB, mit speziell für diese Anwendung ausgelegten Füllflüssigkeiten, die Lösung für hochgenaue und langzeitstabile Messungen.



**Bild 13-2:** Differenzdruck-Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler und mit Druckfühler mit Kapillarrohr

## Füllstandmessung in Tanks

Eine sehr häufige Anwendung von Druck-Messumformern in der Öl- und Gasindustrie ist die Füllstandmessung in Tanks. Wenn es sich dabei um Lagertanks handelt, stehen sie nicht unter Druck, d. h. sie sind zur Atmosphäre offen. In diesem Fall kann zur Messung ein Überdruck-Messumformer eingesetzt werden. Oft werden Messumformer mit direkt angebauten Druckfühlern verwendet, weil das die Montage einfach gestaltet und die Druckfühler eine große Varianz an messmediumberührten Werkstoffen bieten. Sie genügen höchsten Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit. Ist allerdings die Temperatur des Prozessmediums zu hoch, müssen Druckfühler mit Kapillarrohr verwendet werden, die auch bei den in diesen Bereichen vorkommenden Temperaturen bis 350 °C einsetzbar sind.

Abhängig vom Medium, das in den Tanks lagert, wird aus Gründen des Gewässerschutzes häufig das Vorhandensein einer Überfüllsicherung vorgeschrieben. ABB bietet Druck-Messumformer, die die Zulassung als Teil einer Überfüllsicherung haben.



**Bild 13-3:** Messumformer mit direkt angebautem Druckfühler

Druck-Messumformer von ABB erfüllen die Anforderungen der Öl- und Gasindustrie besonders durch folgende vorhandene Merkmale:

- Konfiguration mit Hilfe der integrierten LCD-Anzeige bei geschlossenem Gehäuse, daher ist ein Einsatz auch in explosionsgefährdeten Bereiche mit Zündschutzart „Druckfeste Kapselung“ ohne Abschalten der Energieversorgung möglich.
- Maximaler Arbeitsdruck 60 MPa für Differenzdruck-Messumformer und maximaler Messbereich 60 MPa bei Überdruck-Messumformern.
- Außerordentlich gute Korrosionsbeständigkeit durch Elektronikgehäuse aus nichtrostendem Stahl, aber auch Gehäuse aus Aluminium mit einem Kupferanteil = 0,3 %, haben eine hohe Korrosionsbeständigkeit.
- Für die Verwendung in Sicherheitskreisen sind die Geräte zertifiziert für Anwendungen bis SIL 3 (IEC 61508).
- Vollverschweißte Druckfühler sind auch in der Standardausführung für den Einsatz unter Vakuumbedingungen geeignet.
- Kostengünstige Messung von druck- und temperaturkompensiertem Massedurchfluss mit multivariablen Messumformern

## 13.3 Chemische Industrie



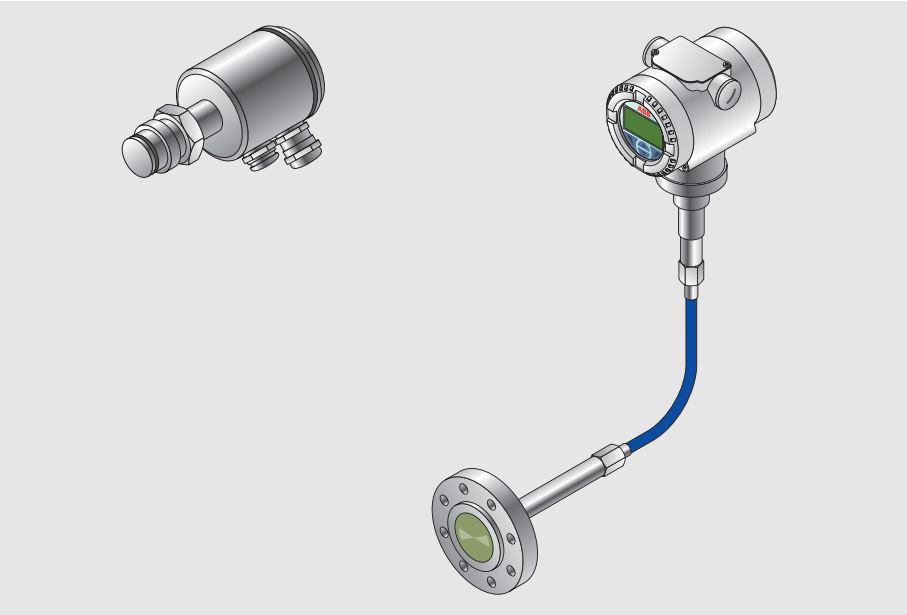
### Füllstandmessung an Reaktionsbehältern

Eine wichtige Anwendung in der chemischen Industrie ist die Füllstandmessung an Reaktionsbehältern. Diese Behälter stehen meistens unter Druck, wodurch für die Messung ein Differenzdruck-Messumformer notwendig ist. Zur Vereinfachung der Installation werden oft Messumformer mit direkt angebauten Druckfühlern verwendet. Abhängig vom Messmedium kann der Einsatz von Druckfühlermembranen mit Antihaftbeschichtung sinnvoll sein.

Die üblicherweise auftretenden Temperaturen bis 120 °C stellen für die Druckfühler keine besondere Beanspruchung dar. Eine voll verschweißte Ausführung der Druckfühler sorgt dabei für hohe Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität.

## Druckmessung an Pumpen

Der Druck an den Pumpen für Lösungsmittel muss mit Druck-Messumformern überwacht werden. Häufig ist die Verwendung von hoch korrosionsbeständigen Werkstoffen für die Teile erforderlich, die mit dem Medium in Berührung kommen. Außerdem sind Spalte am Anschluss der Messumformer an den Prozess unerwünscht. Deshalb werden Geräte mit frontbündigen Membranen oder Druckfühler eingesetzt. Die Pumpen können hohe Druckschwankungen verursachen. Druck-Messumformer, die für hohe Überlastungen ausgelegt sind, verhindern eine Beschädigung der Messsensorik und gewährleisten somit eine lange Lebensdauer der Messumformer.



**Bild 13-4:** Druck-Messumformer mit frontbündiger Membran und mit Druckfühler

## Druckmessung an Feststoffsilos

An Feststoffsilos mit pneumatischen Füllsystemen wird der Behälterdruck mit Hilfe von Überdruck-Messumformern überwacht. Filtersysteme werden durch Messung der Druckdifferenz zwischen Filtereinlass und Filterauslass überwacht. Dafür eignet sich der Einsatz von Druckfühlern mit Membranen aus Diaflex, ein Werkstoff mit sehr hoher Abriebfestigkeit, oder PTFE-Beschichtung.

## Druck- und Trennschichtmessung an Separatoren

Auch in der chemischen Industrie sind Druck- und Trennschichtmessungen an Separatoren notwendig. Die Anforderungen und Lösungen sind vergleichbar mit denen aus der Öl- und Gasindustrie, wie sie bereits zuvor beschrieben wurden.

## Druckmessung an Destillationskolonnen

Messungen an Destillationskolonnen werden ebenfalls so ausgeführt, wie sie bei der Anwendung in der Öl- und Gasindustrie beschrieben wurden.

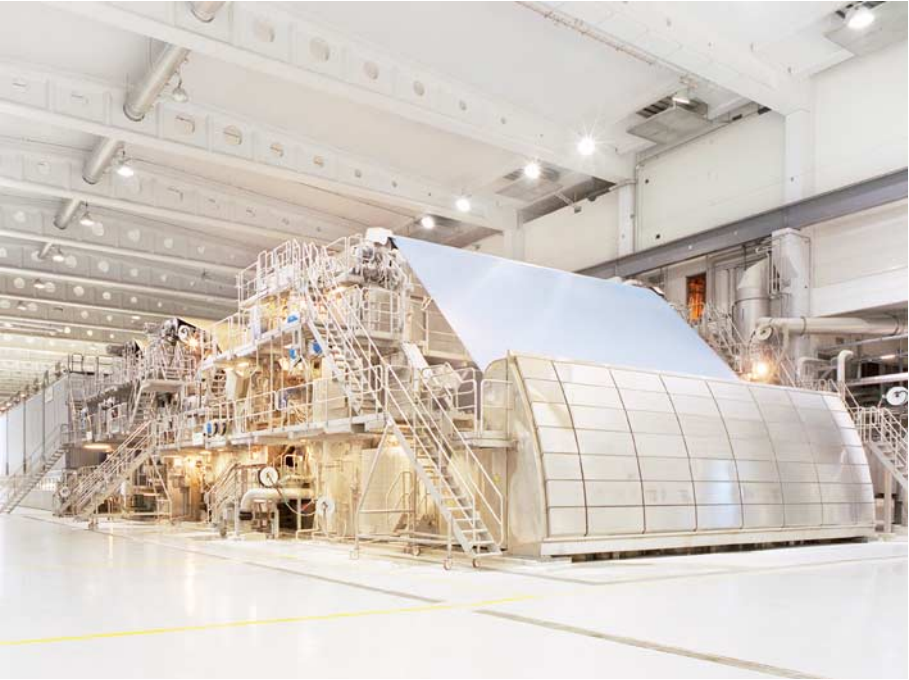
Druck-Messumformer von ABB erfüllen die Anforderungen der chemischen Industrie besonders durch folgende vorhandene Merkmale:

- Konfiguration mit Hilfe der integrierten LCD-Anzeige bei geschlossenem Gehäuse, daher ist ein Einsatz auch in explosionsgefährdeten Bereiche mit Zündschutzart „Druckfeste Kapselung“ ohne Abschalten der Energieversorgung möglich.
- Internationale Zulassungen für den Einsatz der Messumformer in explosionsgefährdeten Bereichen, z. B. ATEX, FM, CSA, NEPSI und GOST, ermöglichen die Verwendung in allen Teilen der Welt.
- Druckfühler mit Beschichtungen, die bei Temperaturen bis 200 °C eingesetzt werden können, verbessern die Korrosionsbeständigkeit und die Antihafteigenschaften.



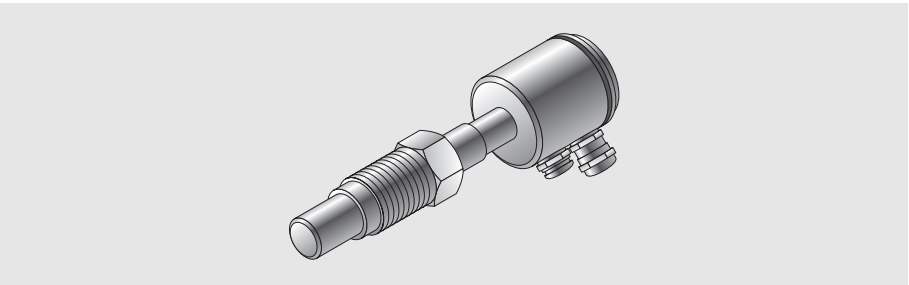
**Bild 13-5:** Internationale Zulassungen

## 13.4 Papiererzeugende Industrie



### Druckmessung bei der Zellstoffproduktion

Bei der Zellstoffproduktion sind Prozessanschlüsse erforderlich, die möglichst wenig Spalte bilden. Das wird durch die Verwendung von Druckfühlern mit vorgezogener Membran erreicht, oder durch spezielle Anschlüsse, die in Kugelhähne integriert werden können.



**Bild 13-6:** Druck-Messumformer mit Druckfühler für Kugelhahn-Einbau

### **Druckmessung am Kocher**

Am Kocher werden Druckfühler eingesetzt, deren Membranwerkstoff hohe Korrosionsbeständigkeit und Abriebfestigkeit bietet, z. B. Diaflex oder Super-Duplex.

### **Druckmessung am Stofflöser**

Für Messungen am Stofflöser werden Druckfühler mit Spülringen eingesetzt, die die regelmäßige Reinigung der Druckfühlermembranen ermöglichen bzw. erleichtern. Spülringe sind speziell gestaltete Adapter zwischen Druckfühler und Anschlussflansch. Durch radial angeordnete Anschlüsse kann eine Spülflüssigkeit zur Reinigung der Membranen eingeleitet werden.



**Bild 13-7:** Druckfühler mit Spülring

### **Druckmessung im Bleichprozess**

Der Bleichprozess erfordert frontbündige Membranen zur Vermeidung von Spalten im Anschlussbereich, ähnlich wie in der Zellstoffproduktion.

## **Druckmessung in der Trocknung und im Kesselhaus**

Die zu messenden Medien in der Trocknung und im Kesselhaus sind Wasser und Dampf. Dafür werden Differenzdruck- und Druck-Messumformer mit Standard-Prozessanschlüssen verwendet. Für temperatur- und druckkompensierte Masse-Durchflussmessungen werden multivariable Messumformer eingesetzt.

Druck-Messumformer von ABB erfüllen die Anforderungen der Papierindustrie besonders durch folgende vorhandene Merkmale:

- Überwachung der Wirkdruckleitungen auf Verstopfungen.
- Besondere Prozessanschlüsse mit frontbündigen Membranen.
- Membranwerkstoffe, wie Diaflex, mit besonders hoher Abriebfestigkeit und Super-Duplex, mit speziell auf die Anforderungen der Papierindustrie zugeschnittener Korrosionsbeständigkeit



## 14 Normen und Regelwerke

Dieser Abschnitt stellt keine vollständige Auflistung aller Normen dar, die für Entwicklung, Produktion und Einsatz von Druck-Messumformern Verwendung finden, sondern ist eine Auswahl einiger besonders wichtiger Titel.

DIN 1314	Druck; Grundbegriffe, Einheiten
DIN EN 764 Teil1	Terminologie – Druck, Temperatur, Volumen, Nennweite
DIN IEC 60068	Umgebungseinflüsse
DIN EN 61010	Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte
DIN EN 61158	Industrielle Kommunikationsnetze – Feldbusse
DIN EN 60770	Messumformer zum Steuern und Regeln in Systemen der industriellen Prozesstechnik
DIN 16086	Elektrische Druckmessgeräte – Druckaufnehmer, Druckmessumformer, Druckmessgeräte – Begriffe und Angaben in Datenblättern
DIN EN 61518	Anschlussmaße zwischen Wirkdruck-Messgeräten und angeflanschten Absperrorganen bis 413 bar (41,3 MPa)
DIN EN ISO 5167	Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt
AGA Report No. 3	Orifice Metering of Natural Gas and other Related Hydrocarbon Fluids
AGA Report No. 8	Compressibility Factor of Natural Gas and Related Hydrocarbon Gases
VDE/VDI 2040	Berechnungsgrundlagen für die Durchflussmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren
DIN EN 61508	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme
DIN EN 61511	Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie
DIN EN 61000	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
DIN EN 61326	Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen

DIN EN 60079	Explosionsfähige Atmosphäre
DIN EN 61241	Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub
DIN EN 60529	Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)
NACE MR0175	Petroleum and natural gas industries-Materials for use in H <sub>2</sub> S-containing environments in oil and gas production
NACE MR0103	Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments
97/23/EG	Druckgeräterichtlinie
NAMUR NE 21	Elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln der Prozess- und Labortechnik
NAMUR NE 43	Vereinheitlichung des Signalpegels für die Ausfallinformation von Digitalen Messumformern mit analogem Ausgangssignal

## 15 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.

### **Zur Handhabung der folgenden Beständigkeitstabelle:**

+ = verwendbarer Werkstoff

0 = bedingt geeigneter Werkstoff, abhängig von Konzentration und Temperatur

- = nicht geeigneter Werkstoff

x = unbekannte Beständigkeit

Ziffern bezeichnen die maximal zulässige Temperatur (°C) für einen allgemein geeigneten Werkstoff.

### **Haftungshinweis:**

Diese Beständigkeitstabelle 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.

	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Abwasser	+	0	+	+	+	+	+
Acetaldehyd	+	+	+	+	+	-	-
Aceton	+	+	+	+	+	-	-
Alaun (Kaliumaluminiumsulfat)	+	+	+	+	+	+	0
Aluminiumchlorid	0	+	+	+	+	+	0
Aluminiumfluorid	-	+	+	-	+	+	-
Aluminiumhydroxid	0	0	0	-	+	+	+
Aluminiumnitrat	+	+	+	+	+	21	+
Aluminiumchlorid	-	0	0	+	+	+	+
Ameisensäure	24	21	-	+	+	-	-
Ammoniak, Ammoniumhydroxyd	+	+	-	0	+	0	0
Ammoniumbisulfat	x	x	x	x	+	+	x
Ammoniumchlorid (Salmiak)	0	+	0	0	+	0	0
Ammoniumfluorid	+	-	0	-	+	+	+
Ammoniumhydroxid (Ammoniak)	+	+	0	-	+	+	-
Ammoniumnitrat	+	0	-	+	+	66	0
Ammoniumphosphat	0	+	0	+	+	x	+
Ammoniumsulfat	-	0	-	+	+	21	+
Ammoniumsulfid	+	x	x	+	+	x	0
Ammoniumsulfid	0	0	-	+	+	+	x
Anilin	+	0	+	+	+	+	-
Apfelsäure	+	0	0	+	+	+	x
Apfelwein	+	+	+	+	+	+	x
Arsensäure	+	+	0	+	+	+	0
Äther	0	0	0	+	+	-	-
Äthylacetat	+	+	+	+	+	-	-
Äthylalkohol	+	+	+	+	+	+	0
Äthylchlorid	0	+	+	+	+	0	-
Azetaldehyd	0	+	+	+	+	+	x
Bariumchlorid	-	-	0	+	+	+	+
Bariumhydroxyd	+	+	+	+	+	x	+
Bariumnitrat	+	0	0	+	+	+	x
Bariumsulfat	0	0	0	+	+	x	+
Bariumsulfid	-	x	-	+	+	+	+
Benzin	+	+	+	+	+	+	0
Benzol	+	+	0	+	+	0	-

	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Bier	+	+	+	+	+	-	+
Bisulfitleuge (Kalziumbisulfid)	0	+	-	+	+	+	-
Blausäure	-	-	-	+	+	-	0
Bleiacetat	0	0	0	+	+	+	+
Blut	+	+	+	+	+	+	x
Borax	0	-	+	x	+	+	0
Borsäure	+	+	0	+	+	21	+
Brom	-	0	-	0	+	0	-
Bromwasser	-	-	-	+	+	66	-
Bromwasserstoff	x	x	x	+	+	x	-
Buttersäure	0	+	0	+	+	-	0
Butylacetat	+	+	+	+	+	-	-
Butylalkohol	+	+	+	+	+	+	0
Cadmiumbromid	-	+	x	x	+	82	x
Cadmiumchlorid	0	+	x	+	+	82	x
Cadmiumnitrat	+	+	x	x	+	+	x
Cadmiumsulfat	-	+	x	x	+	+	x
Calziumhypochlorit	0	+	0	+	+	+	-
Calziumnitrat	0	+	+	+	+	+	0
Calziumsulfat	+	+	+	+	+	+	0
Chlor	0	0	0	+	+	+	-
Chloral	x	+	x	x	+	x	-
Chlorbenzol	+	+	0	+	+	0	-
Chlordioxid	0	-	+	+	+	x	-
Chloressigsäure	0	+	0	+	+	-	-
Chloriertes Wasser	0	+	-	+	+	+	x
Chlorsulfonsäure	0	0	0	+	+	-	-
Chromsäure	-	-	-	+	+	-	-
Coke Sirup	+	x	x	x	+	+	x
Dichloressigsäure	-	-	x	+	+	-	-
Eisen-(II)-Chlorid	-	0	-	+	+	+	x
Eisen-(II)-Sulfat	-	0	0	+	+	+	0
Eisen-(III)-Chlorid	-	0	-	+	+	+	0
Eisen-(III)-Sulfat	+	0	-	+	+	+	0
Eisenchlorid	-	0	-	+	+	+	+

	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Eisen-(II)-nitrat	-	0	x	x	+	x	x
Eisennitrat	+	+	-	+	+	+	0
Eisensulfat	0	0	-	+	+	+	+
Essig	+	+	+	x	+	x	0
Essigsäure 0,25%	0	+	22	+	+	-	-
Essigsäure 50%	0	+	100	+	+	-	-
Essigsäure 99,7%	0	+	-	+	+	-	-
Essigsäureanhydrid	+	+	0	+	+	-	-
Farben	+	+	x	x	+	-	x
Fettsäure	0	0	0	+	+	0	0
Fluorkieselsäure	-	-	+	+	0	+	0
Flußsäure (Fluorwasserstoff)	-	0 / -	0 / -	-	+	+	-
Formaldehyd	0	+	0	+	+	+	0
Fruchtsäfte	+	-	0	x	+	-	+
Furfurol	0	+	0	+	+	-	-
Gin	+	+	x	x	+	+	x
Ginger Ale	+	+	x	x	+	x	x
Glucose	+	+	+	+	+	+	+
Glutarsäure	x	24	x	x	+	-	x
Glycerin	+	+	+	+	+	-	-
Glycol	0	+	+	+	+	+	+
Grünlauge	0	+	+	+	+	x	x
Harnstoff	0	+	0	+	+	+	+
Jodsäure	-	x	x	x	+	x	x
Kaffee	+	+	+	x	+	+	+
Kalium	30	+	x	x	+	66	x
Kaliumbisulfat	0	x	x	x	+	+	+
Kaliumbromid	0	+	0	+	+	+	+
Kaliumcarbonat	0	0	0	-	+	x	+
Kaliumchlorat	0	0	0	+	+	+	-
Kaliumchlorid	0	+	0	+	+	+	+
Kaliumcyanid	+	0	+	+	+	0	-
Kaliumhydroxyd (Kalilauge)	0	0	+	-	+	-	0
Kaliumhypochlorit	0	0	0	0	+	+	-

	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Kaliumnitrat	0	+	0	+	+	+	+
Kaliumpermanganat	0	0	0	+	+	x	-
Kaliumphosphat	0	0	+	+	+	+	+
Kaliumsulfat	-	0	+	+	+	+	+
Kaliumsulfid	+	-	0	+	+	+	+
Kalziumchlorat	0	+	+	+	+	x	x
Kalziumchlorid	-	+	0	+	+	+	x
Kalziumfluorid	+	+	+	-	+	x	x
Kalziumhydroxid	+	+	+	+	+	71	x
Kalziumhypochlorit 6%	-	-	-	+	+	71	x
Kalziumkarbonat	0	0	+	+	+	+	x
Kalziumnitrat	0	0	+	+	+	+	x
Kalziumoxid	+	+	+	+	+	60	x
Kalziumsulfat	0	0	0	+	+	71	x
Karbolsäure (Phenol)	0	+	0	+	+	+	-
Kautschukmilch	+	+	x	x	+	x	x
Kieselflußsäure	-	0	0	-	+	x	x
Kohlendioxyd	+	+	0	0	+	-	-
Kohlensäure	+	+	0	0	+	-	-
Kohleschlamm	0	+	x	x	-	+	x
Königswasser	-	0	-	+	+	0	-
Kräuterlimonade	+	+	x	x	+	+	x
Kunsthharzleim	+	+	+	+	+	x	x
Kupfer-(II)-Chlorid	-	0	0	+	+	+	+
Kupferchlorid	-	-	-	+	+	+	+
Kupfererzschlamm	+	x	x	x	x	+	x
Kupferfluorid	-	-	x	x	+	x	0
Kupfernitrat	0	-	-	+	+	+	0
Kupfersulfat	0	+	0	+	+	71	+
Kupferzyanid	0	0	+	+	+	+	x
Magnesiumcarbonat	0	0	+	+	+	x	x
Magnesiumchlorid	0	+	+	+	+	+	+
Magnesiumhydroxid	0	0	0	+	+	x	0
Magnesiumnitrat	0	0	0	+	+	71	x
Magnesiumsulfat	38	0	+	+	+	71	0
Maleinsäure	0	+	+	+	+	-	-

	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Manganchlorid	0	+	0	+	+	+	x
Mangansulfat	0	+	+	+	+	+	x
Meerwasser	0	0	0	+	+	+	+
Melasse	+	+	+	+	+	x	+
Methanol (Methylalkohol)	+	+	+	+	+	-	0
Methylenchlorid	0	+	+	+	+	0	-
Milch (entrahmt oder normal)	+	+	0	x	+	x	+
Milchsäure 10-85%	-	-	0	+	+	+	0
Milchsäure 5%	+	38	-	+	+	+	0
Mineralöl	+	x	x	x	+	+	0
Molkereiprodukte	+	+	+	-	x	x	x
Natriumacetat	0	+	+	+	+	+	0
Natriumbicarbonat	+	0	+	x	+	0	0
Natriumbisulfat	0	0	0	0	+	-	-
Natriumbisulfit	0	+	+	+	+	-	-
Natriumcarbonat	0	+	0	0	+	-	0
Natriumchlorat	0	0	0	+	+	+	+
Natriumchlorid	0	+	0	0	+	+	+
Natriumchlorit	0	0	0	0	+	x	x
Natriumhydroxid (Natronlauge)	0	0	0	0	+	-	0
Natriumhypochlorit (Bleichlauge)	0	0	0	+	+	+	-
Natriumnitrat	0	0	0	0	+	0	-
Natriumnitrit	+	+	+	0	+	+	+
Natriumperoxid	+	+	+	x	+	x	x
Natriumphosphat	0	0	+	+	+	+	+
Natriumsulfat (Glaubersalz)	0	-	-	+	+	71	-
Natriumsulfid	0	0	+	0	+	71	-
Natriumsulfit	0	0	0	+	+	71	-
Natriumthiosulfat (Fixiernatron)	0	+	+	x	+	+	-
Natronlauge	0	0	+	-	+	+	0
Nickelchlorid	0	+	0	+	+	+	+
Nickelnitrat	0	0	+	+	+	+	+
Nickelsulfat	0	+	0	+	+	+	+
Nitrobenzol	+	+	+	+	+	+	+
Oleum (rauchende Schwefelsäure)	0	0	0	0	+	+	-
Oxalsäure	-	-	0	+	71	-	0



	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Ozon	+	0	0	+	+	+	-
Papiermasse	+	+	x	x	+	x	x
Perchloräthylen	+	+	+	+	+	-	-
Phenol	+	+	0	+	+	0	-
Phosphatschlamm	-	+	x	x	+	+	x
Phosphorsäure 30%	0	26	100	+	+	71	0
Phosphorsäure 80%	-	0	100	+	+	71	-
Pyridin	+	+	+	+	+	-	-
Quecksilber Hg	0	0	-	+	+	0	+
Quecksilberchlorid	-	-	+	+	+	0	+
Rauchgas	0	0	0	0	+	+	-
Rübenzuckersaft	+	x	x	x	+	+	+
Rum	+	x	x	x	+	+	x
Salicylsäure	0	0	+	+	+	-	0
Salpetersäure (alle Konzentrationen)	0	0	x	+	+	0	-
Salpetersäure 5%	+	-	-	+	+	+	-
Salzsäure HCl	-	-	-	+	+	-	-
Schwarzlauge	-	+	-	+	+	+	0
Schwefelige Säure	-	0	-	+	+	+	0
Schwefelsäure	-	22	-	+	+	+	-
Schwefelwasserstoff	+	+	-	+	+	+	-
Schweflige Säure	+	0	+	+	+	+	0
Seewasser	0	+	+	+	+	+	+
Silbernitrat	0	-	-	+	+	+	0
Stärke	0	x	x	x	+	+	+
Tetrachlorkohlenstoff	+	+	+	x	+	0	-
Titandioxid	+	+	x	x	+	x	x
Tomatensaft	+	+	x	x	+	+	x
Tonschlicker	+	+	x	x	0	+	x
Traubensaft	+	+	x	x	+	x	x
Trichloräthylen (Trichloräthen)	+	+	+	+	+	0	-
Vinylchlorid (Chloräthen)	0	0	0	+	+	-	-
Wasserstoffperoxid	+	-	-	+	+	71	-

	Nichtrostender Stahl 316L	Hastelloy C	Monel	Tantal	PTFE	Viton	Buna
Wein	+	+	x	x	+	x	+
Weinsäure	0	x	0	x	+	77	+
Weißblauge	+	+	0	+	+	+	0
Whisky	+	+	x	x	+	+	+
Zelluloseazetat	+	+	+	+	+	-	x
Zinkchlorid	-	0	0	+	+	71	0
Zinksulfat	0	0	0	+	+	71	+
Zinnchlorid	0	0	0	+	+	0	0
Zitronensaft	+	+	x	x	+	x	+
Zitronensäure 10%	+	100	+	+	+	+	+
Zitronensäure	0	+	0	+	+	+	0



---

Die grundlegende Funktionsweise von Messumformern für Druck und Differenzdruck wird dargestellt. Messverfahren und deren Prinzipien werden beschrieben und verglichen.

Eine Vielzahl praktischer Hinweise gibt dem Anwender umfassende und wertvolle Informationen rund um das Thema Druckmessung im industriellen Umfeld.

3KXP000001R0303