

Kecke/Kleinschmidt · Industrie-Rohrleitungsarmaturen

Industrie- Rohrleitungsarmaturen

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Kecke VDI
Dipl.-Ing. Paul Kleinschmidt

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Kecke, Hans Joachim:

Industrie-Rohrleitungsarmaturen / Hans Joachim Kecke ;

Paul Kleinschmidt. – Düsseldorf : VDI-Verl., 1994

ISBN 3-18-401149-6

NE: Kleinschmidt, Paul:

© VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1994

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1994

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photo-mechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung, vorbehalten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Herstellung: PRODUserv, Berlin

Satz: Thompson Press, New Delhi, Indien

Bindearbeiten: Lüderitz & Bauer, Berlin

ISBN 978-3-642-51879-9 ISBN 978-3-642-51878-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-51878-2

Vorwort

Es ist heute durchaus noch keine Selbstverständlichkeit, sich umfassender mit der Funktion von Rohrleitungsarmaturen zu beschäftigen. Ihre Arbeitsweise ist scheinbar leicht zu übersehen. Sie sind alltäglicher Gebrauchsgegenstand und auch unverzichtbare Ausrüstung aller Anlagen des Umganges mit Fluiden.

Ihre Entwicklung ist somit folgerichtig weit zurück verfolgbar, zumindest bis zu den Anfängen der Wasserversorgung über Kanäle und Rohrleitungen. Hinzu kommt, daß das Arbeitsprinzip und gleichermaßen die grundlegende Gestalt sich im Laufe der Zeit kaum veränderten. Mit der Industrialisierung stiegen lediglich die Anforderungen sowohl durch anspruchsvollere Einsatzparameter, ebenso die Vielfalt der Fluide, als auch durch die geforderten Leistungsparameter.

Somit ist es nicht verwunderlich, daß den Armaturen teilweise keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird; sie werden bei einer Projektbearbeitung, vom Angebot ausgehend, den Aufgaben zugeordnet. Man erwartet dann, daß sie problemlos die gestellte Aufgabe erfüllen. Das findet auch in der technischen Literatur bei zusammenfassenden Darstellungen seinen Niederschlag, zumeist wird lediglich die konstruktive Ausführung erläutert.

Ein anderes Bild ergibt sich allerdings beim Studium der Vielzahl von Veröffentlichungen in Zeitschriften und der zunehmenden Anzahl von wissenschaftlichen Veranstaltungen zum Thema Armaturen. Das folgt aus der zentralen Rolle, die die Armaturen bei der Steuerung von Fluid-Technologien einnehmen, und kommt besonders deutlich im Hinblick auf die gewachsenen sicherheitstechnischen Anforderungen zum Ausdruck. Ebenso offensichtlich ist, daß diese Entwicklung auf die Bemühungen um eine genauere Auslegung und umfassendere Berechnung zurückwirkt.

Somit darf derzeit durchaus die Frage nach einer neuen Phase der Armaturenindustrie aufgeworfen werden.

Mit dem Buch soll versucht werden, hierzu einen Ausgangspunkt vorzulegen. Es richtet sich vor allem an den Projektingenieur und Betreiber, der Armaturen einsetzt und nutzt, um ihn in die Lage zu versetzen, ihr Leistungsvermögen einschätzen und die Forderungen sachgerecht stellen zu können. Die Autoren hoffen, daß das Buch auch für den Produzenten von Nutzen ist und ihm Anregung für seine Arbeit gibt.

Magdeburg, im Februar 1994

Prof. Dr.-Ing. H. J. KECKE VDI
Dipl.-Ing. P. KLEINSCHMIDT

Inhalt

Formelzeichen	XIII
1 Einführung	1
2 Historische Entwicklung	3
3 Anforderungen an Armaturen	15
3.1 Beeinflussung des Durchflusses	15
3.2 Automatisierungstechnische Funktionseinheit	19
3.3 Einsatzbedingungen	20
4 Funktion und Bauarten von Armaturen	22
4.1 Wirkprinzip	22
4.2 Funktionsprinzipien	24
4.3 Bauarten	26
4.4 Zuordnung der Bauart zur Aufgabenstellung	29
5 Strömungstechnische Berechnung	35
5.1 Arbeitsbereiche	35
5.1.1 Stoffsysteme	36
5.1.2 Fließgesetze	37
5.1.3 Kompressibilität	38
5.1.4 Bewegungsverhalten	39
5.2 Modellbildung	40
5.2.1 Relevante Einsatzfälle	40
5.2.2 Ähnlichkeitsbedingungen	40
5.2.2.1 Geometrische Ähnlichkeit, Berechnungsmodell	41
5.2.2.2 Physikalische Ähnlichkeit, Kennwertabhängigkeit	43
5.3 Volumenstrom und Drosselung bei Flüssigkeiten	44
5.3.1 Kennwerte	44
5.3.2 Kennwert-Korrekturen	47
5.3.2.1 Geometrieinfluß	47
5.3.2.2 Reynolds-Zahl-Einfluß	51
5.3.3 Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten	54
5.3.4 Durchflußbegrenzung durch Kavitation	57
5.4 Massestrom und Drosselung bei Gasen	65
5.4.1 Näherungsgleichungen für Durchfluß und Druckabbau	66
5.4.1.1 Unterkritische Armaturendurchströmung	66
5.4.1.2 Überkritische Armaturendurchströmung	69
5.4.1.3 Anwendung auf Dämpfe	71
5.4.2 Zustandsverlauf bei der Armaturendurchströmung	74
5.4.2.1 Zustandsbeschreibung in Mollier-Darstellung	74
5.4.2.2 Zustandsverlauf in der Armatur	77

5.4.3	Durchflußberechnung unter Beachtung des Zustandsverlaufes	79
5.4.3.1	Berechnung des Massestromes	80
5.4.3.2	Vereinfachte Gebrauchsformeln	83
5.5	Kräfte und Momente	87
5.5.1	Kennwerte	87
5.5.2	Charakteristiken der Armaturengrundtypen	90
5.6	Armaturenlärm	96
5.6.1	Strömungsgeräusche	97
5.6.2	Schallemission von Armaturen	101
5.6.3	Geräuschminderung	105
6	Hauptfunktionen	110
6.1	Absperrn des Durchflusses	110
6.2	Stellen des Durchflusses	116
6.2.1	Normierte Kennlinien	118
6.2.2	Anlageneinfluß bei Flüssigkeiten	121
6.2.3	Stellarmatureneinsatz bei Gasen	125
6.2.4	Sonstige Anforderungen	126
6.2.5	Auswahl von Stellarmaturen	130
6.3	Absicherungsaufgaben	131
6.3.1	Druckbegrenzung	132
6.3.2	Rückstromverhinderung	139
6.3.3	Phasentrennung	142
7	Armaturenausführungen	148
7.1	Grundsätzliche Gestaltung	148
7.1.1	Ventile	150
7.1.1.1	Magnetventile	157
7.1.2	Schieber	162
7.1.2.1	Einschnürung und Leitrohr	170
7.1.2.2	Überdrucksicherung	170
7.1.3	Hähne	172
7.1.3.1	Kükenhähne	173
7.1.3.2	Kugelhähne	174
7.1.4	Klappen	180
7.1.5	Gehäusegestaltung und -fertigung (Grundsätzliches)	191
7.2	Absperrarmaturen	194
7.2.1	Absperrventile, Bauarten und ihre Anwendung	194
7.2.1.1	Aufsatzventile	194
7.2.1.2	Kopfstückventile	195
7.2.1.3	Absperrventil mit Faltenbalg	195
7.2.1.4	Kolbenabsperrentile	195
7.2.1.5	Magnetventile	196
7.2.2	Absperrschieber, Bauarten und ihre Anwendung	203
7.2.2.1	Keilschieber	203
7.2.2.2	Parallelschieber	207
7.2.2.3	Schieber mit Faltenbalg	211
7.2.3	Absperrhähne, Bauarten und ihre Anwendung	212
7.2.3.1	Kükenhähne	212
7.2.3.2	Kugelhähne	215
7.2.4	Absperrklappen, Bauarten und ihre Anwendung	218
7.2.4.1	Klappen mit zentrisch gelagerter Klappenscheibe	218
7.2.4.2	Klappen mit exzentrisch gelagerter Klappenscheibe	223

7.3	Stellarmaturen	225
7.3.1	Stellventile	226
7.3.1.1	Bauarten	226
7.3.1.2	Stellbaugruppen	229
7.3.2	Stellklappen	234
7.3.3	Stellkugelhähne	237
7.3.3.1	Sonderbauarten	239
7.3.4	Stellschieber	240
7.3.5	Auswahlkriterien für Stellarmaturen	241
7.4	Komplettierung zur Regeleinrichtung	245
7.4.1	Regler ohne Hilfsenergie	246
7.4.1.1	Druckregler	249
7.4.1.2	Temperaturregler	253
7.4.1.3	Schwimmergesteuerte Regler	255
7.5	Sicherheitsarmaturen	255
7.5.1	Sicherheitsventile	255
7.5.1.1	Einteilung der Sicherheitsventile	258
7.5.1.2	Masse- und federbelastete Sicherheitsventile	258
7.5.1.3	Sicherheitsventile mit Zusatzbelastung	261
7.5.1.4	Mittelbar wirkende Sicherheitsventile	262
7.5.1.5	Auswahl, Größenbestimmung und Einstellung	265
7.5.1.6	Zuführungs- und Abblaseleitung, Gegendruck	267
7.5.1.7	Abblasekräfte an Sicherheitsventilen und Abblaseleitungen	269
7.5.1.8	Sonderbauarten	270
7.5.2	Rückflußverhinderer	271
7.5.2.1	Rückschlagventile	272
7.5.2.2	Rückschlagklappen	272
7.5.2.3	Sonderbauarten	280
7.5.3	Kondensatableiter	282
7.5.3.1	Beschreibung der Bauarten	283
7.5.3.2	Einsatz und Betrieb von Kondensatableitern	288
7.5.4	Selbsttätige Be- und Entlüftungsventile	291
7.6	Armaturen für spezielle Einsatzgebiete (Spezialarmaturen)	296
7.6.1	Membranventile	296
7.6.2	Schnellschlußarmaturen	298
7.6.3	Lenz- und Ballastventile	302
7.6.4	Armaturen für Gas-, Wasser- und Abwassersysteme, Fernleitungen	302
7.6.4.1	Armaturen für Wasser und Abwasser	303
7.6.4.2	Armaturen für Gas- und Ölferrleitungen	307
7.6.5	Kraftwerksarmaturen	307
7.6.6	Hochdruckarmaturen für die chemische Industrie	316
7.6.7	Armaturen für den Feststofftransport	321
7.6.8	Armaturen für die Lebensmittel- und Getränkeindustrie	323
7.6.9	Armaturen für tiefe Temperaturen	323
7.6.10	Kunststoffarmaturen	327
8	Konstruktionselemente, universelle Baugruppen	332
8.1	Gehäuseverschlüsse	332
8.1.1	Deckeldichtung	332
8.1.2	Bemessungshinweise	337
8.2	Spindelabdichtung	340
8.2.1	Stopfbuchspackung	340
8.2.1.1	Wirkungsweise	341
8.2.1.2	Konstruktion und Auslegung	343
8.2.1.3	Eigenschaften und Einsatzgrenzen	346

8.2.1.4	Montage und Wartung	347
8.2.1.5	Stopfbuchse mit Manschettenringen	348
8.2.1.6	Spindelabdichtung mit Ringen	349
8.2.2	Stopfbuchslose Spindelabdichtung	349
8.2.2.1	Abdichtung mit Faltenbalg	349
8.2.2.2	Abdichtung mit Membrane	350
8.3	Spindelrückdichtung	350
8.4	Dichtungen der Absperrbaugruppe	352
8.5	Entlastungskegel und Umführungen bei Armaturen	353
8.6	Rohrleitungsanschlüsse	354
8.6.1	Lösbare Rohrleitungsanschlüsse	354
8.6.2	Unlösbare Rohrleitungsanschlüsse	354
8.6.3	Einklemmen zwischen Rohrleitungsflansche	355
8.7	Armaturenverriegelungen	355
9	Stellantriebe	359
9.1	Stellkräfte	359
9.2	Allgemeine Anforderungen, Auswahl- und Anwendungskriterien	362
9.3	Zusatzeinrichtungen	364
9.4	Betätigungsköpfe, Antriebsanschlüsse, Fernantriebsteile	364
9.5	Handbetätigung	368
9.6	Elektrische Stellantriebe	368
9.6.1	Mechanische Auslegung und Anforderungen	368
9.6.2	Betriebsarten	371
9.6.3	Bauarten	371
9.6.4	Zusatzgetriebe	375
9.6.5	Antriebsmotoren	375
9.6.6	Abtriebswellen	377
9.6.7	Schalt- und Meldeeinrichtungen	377
9.6.8	Allgemeine Einsatzbedingungen	379
9.7	Pneumatische und hydraulische Stellantriebe	380
9.7.1	Wirkungsweisen	380
9.7.2	Statisches und dynamisches Verhalten, Stellkraft	382
9.8	Pneumatische Stellantriebe	383
9.8.1	Aufbau und Wirkungsweise	384
9.8.2	Positionierung, Zusatzeinrichtungen	386
9.8.3	Auslegung pneumatischer Stellantriebe	388
9.8.4	Bauarten	390
9.8.5	Anwendungsbereiche	392
9.9	Hydraulische Stellantriebe	392
9.9.1	Aufbau und Wirkungsweise	394
9.9.2	Bauarten	395
10	Festigkeit	396
10.1	Wesentliche Belastungen und Beanspruchungen	396

10.2	Auslegung, Nachweisführung	400
10.2.1	Berechnungsmethoden	400
10.2.2	Experimenteller Festigkeitsnachweis	403
10.2.3	Schlußbemerkung	404
11	Werkstoffe	405
12	Prüfung	414
12.1	Schadensursachen	414
12.2	Prüfungen beim Hersteller	415
12.3	Typprüfung, Bauteilprüfung	415
12.4	Betriebsüberwachung	419
13	Schlußbemerkungen	420
14	Anhang	423
14.1	Ergänzung zum Abschn. 5.4	423
14.1.1	Zusammenhänge beim offenen, arbeits- und wärmedichten System bei isentroper Zustandsänderung	423
14.1.2	Zusammenhänge beim offenen, arbeits- und wärmedichten System bei irreversibler Zustandsänderung	425
14.2	Stoffwerte	427
14.3	Druckverlust in Rohrleitungen	428
14.4	Richtlinien	430
14.5	Sinnbilder für Armaturen	432
	Schrifttum	434
	Sachwörterverzeichnis	445

Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen

A	m^2	Fläche; Öffnungsquerschnitt
Ar	—	Archimedes-Zahl
a	m/s	Schallgeschwindigkeit
a_F	m/s	Fortpflanzungsgeschwindigkeit (Druckwellen)
Bm	—	Bingham-Zahl
b	m	Breite
C	—	Durchflußkoeffizient
c	N/m	Federkonstante
c_F	—	Kraftbeiwert
c_L	m/s	Longitudinalwellengeschwindigkeit
c_M	—	Momentenbeiwert
c_p	$J/(kg \cdot K)$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
c_v	$J/(kg \cdot K)$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
D	m	Durchmesser
DN	mm	Nennweite
d	m	Durchmesser
E	J	Energie
Eu	—	Euler-Zahl
e	J/kg	spezifische Energie
e	m	Exzentrizität
F	N	Kraft
Fr	—	Froude-Zahl
F_p	—	Rohrleitungsgeometriefaktor
F_R	—	Reynolds-Zahl-Faktor
f	Hz	Frequenz
f_g	—	Druckrückgewinnfaktor
g	m/s^2	Schwerkraftbeschleunigung
H	m	geodätische Höhe
He	—	Hedström-Zahl
h	m	Höhe
h	J/kg	spezifische Enthalpie
I	$N \cdot s$	Impuls
K	$Pa \cdot s^n$	Konsistenzkoeffizient; Steifigkeit
K	—	numerische Konstante
k_f	—	Druckrückgewinnkennwert
k_{gl}	m^3/h i. N.	gleichwertiger Durchfluß
k_v	m^3/h	Einheitsdurchfluß
L	N	Last
L	dB	Schalldruckpegel
L_p	dB	Schalleistungspegel
l	m	Länge
M	—	Mach-Zahl
M	$N \cdot m$	Moment
m	—	Flächenverhältnis
\dot{m}	kg/s	Massestrom
N	—	numerische Konstante
n	—	Polytropenexponent
n	—	Fließindex; Strukturziffer
n	min^{-1}	Drehzahl
P	W	Leistung
PN	bar	Nennndruck

p	Pa	Druck
Δp	Pa	Druckdifferenz
q	J/kg	spezifische Wärme
q	Pa	Staudruck
R	dB	Schalldämmpegel
R	J/(kg·K)	spezifische Gaskonstante
Re	—	Reynolds-Zahl
R_e	Pa	Streckgrenze
r	m	Radius
r	kg/m ⁷	Strangbeiwert
S	—	Sicherheitsfaktor
Sr	—	Strouhal-Zahl
s	m	Wanddicke
s	J/(kg·K)	spezifische Entropie
T	K	Temperatur
t	s	Zeit
u	J/kg	spezifische innere Energie
\dot{V}	m ³ /s	Volumenstrom
v	m ³ /kg	spezifisches Volumen
We	—	Weber-Zahl
w	m/s	Geschwindigkeit
x	—	Differenzdruckverhältnis
x	—	Dampfgehalt
x, y, z	m	kartesische Koordinaten
Y	—	Expansionsfaktor
Z	—	Realgasfaktor
α	—	Durchflußbeiwert, Ausflußziffer
α	—	Raumausdehnungszahl
β	°	Drehwinkel
γ	s ⁻¹	Geschwindigkeitsgradient
ε	—	Strahlkontraktionskoeffizient
ζ	—	Druckverlustbeiwert
η	—	Wirkungsgrad
η	—	strömungsmechanisch-akustischer Umwandlungsgrad
η	Pa·s	dynamische Zähigkeit
η_p	Pa·s ⁿ	plastische Viskosität, Steifigkeit
κ	—	Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten
λ	—	Rohrreibungsbeiwert
μ	—	Reibungskoeffizient
ν	m ² /s	kinematische Zähigkeit
ρ	kg/m ³	Dichte
σ	—	Kavitationsbeiwert
τ	Pa	Schubspannung
τ_0	Pa	Anfangsschubspannung, Fließgrenze
χ	—	Kompressibilitätskoeffizient
ψ	—	Durchflußfunktion

Indizes

A	Armatur
An	Ansprechpunkt
Anl	Anlage
Antr	Antrieb
B	Betriebspunkt
Be	Berechnung
b	Beschleunigung
C	Feder
D	Dampf; Dichtfläche

eff	effektiv
erf	erforderlich
F	Fluid
G	Gesamt-, Ruhedruck
G	Gegendruck
geo	geodätisch
ges	gesamt
gl	gleichwertig
gm	geometrisch
gp	gleichprozentig
H	Hand
K	Korn
korr	korrigiert
krit	kritisch
L	Leitung; Anlage
L	Leckage
lam	laminar
lin	linear
M	Material
M	Membrane
m	mittlere
max	maximal
mech	mechanisch, strömungsmechanisch
min	minimal
N	Normzustand
Ö	Öffnung
P	Pumpe
p	statisch
q	Quelle; Staudruck
R	Rohr; Reibung
rück	Rückgewinn, Rückströmung
S	Sitz
Sch	Schließdruck
Sp	Spindel
St	Steuer
T	Trägheit; kritisch, modifiziert
turb	turbulent
U	Umschlag; Umgebung
u	unterkritisch
ük	überkritisch
v	Verlust
vorh	vorhanden
vc	vena contracta, strömungstechnisch
W	Wand
w	Wirkdruck
zul	zulässig
0	Eintritt; Bezugspunkt
1	Systemeintritt (Armatür)
2	Systemaustritt (Armatür)
100	100% geöffnet
*	kritisch (isentrop)