

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
A Regelarmaturen	
1 Einleitung	13
1.1 Regelkreis	13
1.2 Reglerausführungen	19
1.3 Sinnbildliche Darstellung von Regelarmaturen	20
2 Stoffeigenschaften	23
2.1 Dichte	23
2.2 Schallgeschwindigkeit	23
3 Strömungen durch die Regelarmatur	25
3.1 Energiegleichung für inkompressible Fluide (Flüssigkeiten)	25
3.2 Energiegleichung für Gase	26
3.2.1 Strömungsverhältnisse bei unterschiedlichem Gegendruck und bei Schallgeschwindigkeit	30
4 Durchflusskapazität einer Regelarmatur	33
4.1 Flüssigkeiten	33
4.2 Gase und Dämpfe	33
4.3 Definition des K_v -Wertes	35
4.4 Berechnung des K_v -Wertes unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen	36
4.5 Umrechnung des K_v -Wertes in einen Widerstandsbeiwert ζ	37
4.6 Empfohlene Strömungsgeschwindigkeiten in Rohrleitungen	43
5 Beachtungsmerkmale der K_v-Wert-Berechnung	47
5.1 Flüssigkeiten	47
5.1.1 Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung	47
5.1.2 Durchfluss mit Durchflussbegrenzung, aber ohne Fittings	47
5.1.3 Durchfluss mit Durchflussbegrenzung und mit Fittings	48
5.1.4 Ermittlung der Korrekturfaktoren bei Flüssigkeiten	49
5.1.4.1 Rohrleitungsgeometriefaktor F_p	49
5.1.4.2 Reynoldszahlfaktor F_R	50
5.1.4.3 Faktoren für den Druckrückgewinn (F_L und F_{1p})	50
5.1.4.4 Faktor F_F für das kritische Druckverhältnis bei der Verdampfung von Flüssigkeiten	51
5.2 Gase und Dämpfe	52
5.2.1 Bemessungsgleichungen	52
5.2.2 Ermittlung der Korrekturfaktoren bei Gasen und Dämpfen	52
5.2.2.1 Rohrleitungsgeometriefaktor F_p	52
5.2.2.2 Expansionsfaktor Y	52
5.2.2.3 Differenzdruckverhältnis x_T	53
5.2.2.4 Normierungsfaktor F_x für κ	54
5.2.2.5 Realgasfaktor Z	55
5.3 2-Phasen-Strömung	55
5.4 Zusammenfassende Darstellung	55

8 Inhaltsverzeichnis

6	Schallpegelberechnung	65
6.1	Geräuschursachen	65
6.2	Innere Schallpegelberechnung bei Flüssigkeiten	65
6.2.1	Kavitationsfreie Strömung ($x_F < Z_v$)	66
6.2.2	Strömung mit Kavitation ($x_F \geq Z_v$)	66
6.2.3	Spektrum des inneren Schalleistungspegels	66
6.3	Innere Schallpegelberechnung bei Gasen und Dämpfen	66
6.3.1	Kritisches Differenzdruckverhältnis x_{cr}	67
6.3.2	Umwandlungsgrad η_G	67
6.4	Luftschallemission	68
6.4.1	Äußerer Schalleistungspegel (unbewertet)	68
6.4.2	Äußerer A-bewerteter Schalleistungspegel	69
6.4.3	Äußerer A-bewerteter Schalldruckpegel	69
6.5	Geräuschdämpfung	69
6.5.1	Maßnahmen zur Geräuschminderung an der Anlage	76
7	Kennlinien	82
7.1	Durchflusskennlinie	82
7.2	Kennlinienformen	86
7.3	Zuschlagsfaktoren	91
7.4	Kennlinienform bei Stellklappen	92
7.5	Verbraucher kennlinien	93
7.5.1	Regelventil und Wärmeaustauscher	93
7.5.2	Wärmestromkennlinie mit Umschlag der Strömung «laminar/turbulent»	95
7.6	Merkmale für die Kennlinienfestlegung	96
7.6.1	Kennlinienauswahl	96
7.6.2	Stellverhältnis	96
7.6.3	Schallverhalten	97
7.7	Leckdurchfluss	100
8	Druckstoßberechnung	101
8.1	Allgemeines	101
8.2	Plötzliche Geschwindigkeitsänderungen	101
8.3	Lineare Geschwindigkeitsabnahme	103
9	Bauarten	115
9.1	Hubventile	116
9.2	Drehkegel- und Gleitschieberventile	129
9.3	Stellklappen	132
9.4	Stellkraftberechnung	137
9.4.1	Stellkräfte am Ventil	137
9.4.2	Stellmomente an Stellklappen	140
9.5	Antriebe	141
9.5.1	Elektrischer Stellantrieb	141
9.5.2	Pneumatischer Stellantrieb	143
9.6	Einbau von Regelventilen	145
9.7	Auswahlkriterien für Stellgeräte	146
10	Abnahmeprüfungen und Normen für Armaturen	153
10.1	Qualitätssicherung	153

B Sicherheitsarmaturen

11	Einleitung	161
12	Ermittlung des abzuleitenden Massenstroms	165
12.1	Berechnungsbeispiele	165
12.2	Gleichungen für die Überströmung	168
13	Sicherheitsventile	169
13.1	Bauarten	169
13.1.1	Aufbau und Funktion eines Sicherheitsventils	169
13.1.2	Ausführungsarten und Funktionsunterschiede	172
13.2	Durchfluss am Ventilsitz	174
13.2.1	Flüssigkeiten	174
13.2.2	Besondere Flüssigkeiten	177
13.2.2.1	Siedende Flüssigkeiten	177
13.2.2.2	Zähe Flüssigkeiten	177
13.2.3	Gase	178
13.2.4	Ausflussziffer	182
13.2.4.1	Definition von α - und α_w -Wert	182
13.2.4.2	Hubbegrenzung	185
13.2.4.3	Berechnungsbeispiele	185
13.3	Ventilzuleitung	190
13.3.1	Zuleitung von Flüssigkeiten	192
13.3.2	Zuleitung von Gasen und Dämpfen	192
13.3.2.1	Berechnungsbeispiel	195
13.4	Ausblaseleitung	196
13.4.1	Ausblaseleitung für Flüssigkeiten	197
13.4.2	Ausblaseleitung für Gase und Dämpfe	198
13.4.2.1	Berechnungsbeispiel	201
13.5	Druckstoß in der Zuleitung	201
13.5.1	Druckstoßvorgänge in langen Zuleitungen	202
13.5.2	Berechnungsbeispiel	204
13.6	Reaktionskraft beim Ausströmen	205
13.6.1	Stationäre Kräfte	205
13.6.2	Instationäre Kräfte	208
13.6.3	Biegemomente bei Sicherheitsventilen	209
13.6.3.1	Berechnungsbeispiele	209
13.7	Lärmbelastung	210
13.7.1	Geräuschursachen	210
13.7.2	Schallpegel	211
13.7.3	Schallausbreitung	211
13.7.4	Berechnung	211
13.7.4.1	Vereinfachte Berechnung nach VDI 2713	211
13.7.4.2	Berechnung nach VDMA 24422	212
13.7.5	Schalldämpferauslegung	213
13.7.5.1	Berechnung nach VDI 2173	213
13.7.5.2	Berechnung nach VDMA 24422	214
13.8	Seismische Belastungen	215
13.9	Zündfähige Höhe des Ausblasefreistrahls	216
13.10	Konstruktion und Anwendung	217
13.10.1	Gewichtsbelastete Sicherheitsventile	217
13.10.2	Federbelastete Sicherheitsventile	217
13.10.3	Gesteuerte Sicherheitsventile	221
13.10.4	Überströmventile	222
13.10.5	Dichtheit	224

10 Inhaltsverzeichnis

13.10.6	Datenblatt für Sicherheitsventile	225
13.10.7	Anwendungen	226
13.11	Installation	226
14	Sicherheitsstandrohre	233
15	Emissionsvermeidung von gefährlichen Stoffen über Druckentlastungseinrichtungen	235
16	Berstsicherungen	237
16.1	Berstscheibenarten	237
16.1.1	Zugbelastete konkav gewölbte Berstscheiben	237
16.1.2	Druckbelastete konvex gewölbte Berstscheiben	240
16.1.3	Flache Berstscheiben	242
16.2	Berechnung des Ablasequerschnitts bei Flüssigkeiten	243
16.3	Berechnung des Ablasequerschnitts bei Gasen und Dämpfen	244
16.4	Kombination von Berstscheibe und Sicherheitsventil	244
16.4.1	Berechnungsbeispiele	246
17	Explosionssicherungen	249
17.1	Druckentlastung bei Staubexplosionen	249
17.1.1	Vorbeugender Explosionsschutz	249
17.1.2	Explosionsdruckentlastung	249
17.1.3	Berstscheibe als Druckentlastung	250
17.1.4	Richtlinie für die Auslegung	250
17.1.5	Bemessung der Druckentlastungsöffnung bei Explosionen	251
17.2	Flammendurchschlagsicherungen	251
17.3	Bandsicherung	253
18	Ableitsysteme	255
18.1	Geschlossene Auffangsysteme	255
18.2	Flüssigkeitsabscheidung	256
18.3	Wäscher	258
18.4	Verbrennung	258
Anhang	261
Stoffdaten		263
Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen		277
Literaturverzeichnis		283
Stichwortverzeichnis		285