

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort .....	5
Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen .....	13
<b>1 Planungsgrundlagen .....</b>	<b>17</b>
1.1 Allgemeines .....	17
1.2 Rohrleitungen innerhalb der Druckgeräterichtlinie (DGRL) .....	19
1.2.1 Allgemeines .....	19
1.2.2 Einstufung des Druckgerätes .....	19
1.2.3 Konformitätsbewertungsverfahren .....	20
1.2.4 Gefahrenanalyse .....	25
1.2.5 Betriebsanleitung .....	25
1.2.6 Anzuwendendes Regelwerk .....	26
1.2.7 Werkstoffe .....	26
1.2.8 Dauerhafte Verbindungen (Schweißen) .....	27
1.2.9 Zerstörungsfreie Prüfung .....	27
1.2.10 Prüfungen und Abnahmen .....	27
1.2.11 Dokumentation .....	27
1.2.12 CE-Kennzeichnung .....	28
1.2.13 Konformitätserklärung .....	29
1.3 Betriebssicherheitsverordnung .....	29
1.3.1 Prüfung vor Inbetriebnahme .....	29
1.3.2 Wiederkehrende Prüfungen .....	30
1.4 Fließbilder .....	30
1.4.1 Bildzeichen für Anlagensysteme .....	30
1.4.2 Bezeichnung von Anlagenelementen .....	40
1.4.3 Bildzeichen für die gerätetechnische Darstellung .....	42
1.4.4 Fließbildausführung .....	44
<b>2 Kennzeichnung und Abmessungen von Rohrleitungselementen .....</b>	<b>51</b>
2.1 Rohrherstellung .....	51
2.1.1 Geschichtliche Entwicklung .....	51
2.1.2 Nahtlose Rohre .....	51
2.1.2.1 Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren .....	51
2.1.3 Geschweißte Rohre .....	53
2.1.3.1 Pressgeschweißte Rohre .....	53
2.1.3.2 Schmelzgeschweißte Rohre .....	54
2.2 DN-Kenngrößensystem (Nennweite) .....	56
2.3 Rohre .....	56
2.4 Formstücke zum Einschweißen .....	64
2.4.1 Rohrbögen .....	67
2.5 PN-Kenngrößensystem (Nennndruck) .....	111
2.5.1 Begriffe .....	111
2.6 Rohrleitungsverbindungen .....	113
2.6.1 Flanschverbindungen .....	113
2.6.2 Flansche .....	113
2.6.2.1 Grundregeln für die Berechnung der Flanschverbindungen .....	114
2.6.2.2 Maße .....	115
2.6.2.3 Dichtflächen .....	115
2.6.2.4 Bestimmung der Druck-Temperatur-Zuordnung .....	132
2.6.3 Dichtungen .....	148
2.6.4 Schrauben und Muttern .....	149

2.6.5	Schraubverbindung .....	153
2.6.5.1	Schraubverbindungen mit Abdichtungen im Gewinde .....	154
2.6.5.2	Rohrverschraubungen .....	155
2.6.6	Schweißverbindungen .....	155
2.6.6.1	Konstruktive Gestaltung .....	155
2.6.6.2	Schweißverfahren .....	160
2.6.6.3	Abgrenzung und Kombination üblicher Schweißverfahren .....	160
2.6.6.4	Anpassen der Innendurchmesser für Rundnähte von Verbindungen an nahtlosen Rohren .....	162
2.6.6.5	Schweißenden an Armaturen .....	162
<b>3</b>	<b>Rohrverlegung .....</b>	<b>165</b>
3.1	Rohrdehnung .....	165
3.2	Natürlicher Rohrdehnungsausgleich .....	168
3.2.1	Vereinfachte Grundsysteme .....	168
3.2.1.1	Einfacher Winkelbogen .....	171
3.2.1.2	Gleichschenkliger Z-Bogen .....	173
3.2.1.3	Symmetrischer Umbogen .....	173
3.2.1.4	U-Bogen-Dehnungsausgleicher .....	174
3.2.1.5	Vorspannung .....	177
3.2.2	Dehnung eines beliebig geformten Systems .....	177
3.2.3	Elastizität ebener Rohrsysteme .....	179
3.2.4	Verformung gebogener Rohre .....	183
3.2.4.1	Rohrbogen-Verformung .....	183
3.2.4.2	Bogenrohre .....	184
3.2.5	Berechnungsgang .....	185
3.2.5.1	Ebene Systeme .....	185
3.2.5.2	Räumliche Systeme .....	192
3.2.6	Spannungsermittlung .....	193
3.2.7	Berechnung der Rohrschenkellänge nach der Spannung-Index-Methode .....	200
3.2.7.1	Annahmekriterien .....	200
3.2.7.2	Zulässige Spannungen .....	208
3.2.8	Elastizitätskriterium von Rohrsystemen .....	208
3.3	Künstlicher Dehnungsausgleich .....	213
3.3.1	Kompensatoren .....	213
3.3.1.1	Axial-Kompensatoren .....	213
3.3.1.2	Gelenk-Kompensatoren .....	222
3.3.1.3	Gelenk-Kompensatoren (Lateral-Kompensatoren) .....	223
3.3.2	Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher .....	224
3.3.2.1	Nicht entlasteter Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher .....	224
3.3.2.2	Entlasteter Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher .....	225
3.4	Rohrabstützungen und Befestigungen .....	226
3.4.1	Stützweiten .....	226
3.4.2	Rohrbefestigungen .....	239
3.4.3	Rohrunterstützungen .....	243
3.4.4	Rohraufhängungen .....	248
3.4.4.1	Federnde Aufhängungen .....	248
3.4.4.2	Konstant-Federhänger .....	249
3.4.5	Festpunkte .....	251
3.4.6	Dimensionierung von Haltetraversen .....	251
3.5	Rohrleitungsschwingungen .....	252
3.5.1	Stoßbremsen und Gelenkstreben .....	254
3.5.2	Beurteilung von Rohrleitungsschwingungen .....	254
3.5.2.1	Schwingungsentstehung infolge stationärer Strömung .....	255
3.5.2.2	Wirbelablösungen an Rohreinbauten .....	255
3.5.2.3	Druckstöße .....	255
3.5.2.4	Druckpulsationen .....	255

	3.5.2.5 Fremdanregung .....	255
	3.5.2.6 Berechnung der Wechselfspannung .....	255
	3.5.2.7 Zulässige Spannung .....	257
3.6	Rohrleitungen aus Kunststoff .....	258
3.6.1	Rohrverlegung .....	260
3.6.2	Biegeschenkelänge $L_A$ .....	261
3.6.3	Aufnahme der Längenänderung durch Kompensatoren .....	261
3.7	Spannungsanalyse .....	262
3.7.1	Spannungen aufgrund ständig wirkender Lasten .....	262
3.7.2	Spannungen aufgrund gelegentlich oder außergewöhnlich wirkender Lasten .....	262
3.7.3	Spannungsschwingbreite aufgrund Wärmedehnung und wechselnder Sekundärlasten .....	262
3.7.4	Zusätzliche Bedingungen für den Zeitstandsbereich .....	262
3.7.5	Spannungen aufgrund einmaliger Verschiebung von Rohrhalterungen .....	262
3.8	CAE in der Rohrleitungstechnik .....	263
3.8.1	CAD-unterstützte Rohrleitungsplanung .....	263
3.8.1.1	Rohrklassenbezogene Verrohrung .....	263
3.8.1.2	Armaturen .....	264
3.8.1.3	Rohrhalterungen .....	264
3.8.1.4	Zeichnungsableitungen und Auswertungen .....	264
3.8.2	Rechnergestützte Analyse .....	264
3.8.2.1	Nennweiten und Wanddicken .....	265
3.8.2.2	Druckverlustberechnung .....	265
3.8.2.3	Modellierung .....	266
3.8.2.4	Lastfalldefinition .....	266
3.8.2.5	Berechnung .....	266
3.8.2.6	Ergebnisse und Dokumentation der Druckverlustberechnung .....	267
3.8.2.7	Optimierung und Anpassung der Berechnung .....	268
3.8.3	Elastizitätsberechnung .....	268
3.8.3.1	Modellierung .....	269
3.8.3.2	Lastfalldefinition .....	269
3.8.3.3	Berechnung .....	270
3.8.3.4	Ergebnisse und Dokumentation .....	270
3.8.3.5	Optimierung und Systemanpassung .....	271
3.8.3.6	Geltungsbereich und Berechnungsgrenzen .....	271
3.8.3.7	Beispielberechnung .....	273
4	<b>Strömungstechnik</b> .....	277
4.1	Wahl der Strömungsgeschwindigkeit und des Rohrrinnendurchmessers .....	277
4.2	Druckabfallberechnung .....	279
4.2.1	Inkompressible Medien (Flüssigkeiten) .....	279
4.2.2	Kompressible Medien (Gase und Dämpfe) .....	282
4.3	Feststofftransport .....	282
4.3.1	Gemische aus Gas und Feststoff (pneumatische Förderung) .....	282
4.3.1.1	Wahl der Transportgasgeschwindigkeit .....	282
4.3.1.2	Druckabfall .....	284
4.3.2	Gemisch aus Flüssigkeit und Feststoff (hydraulische Förderung) .....	286
4.4	Rohrkennlinie (Anlagenkennlinie) .....	288
4.5	Kennlinien von Rohrsystemen .....	289
4.5.1	Hintereinandergeschaltete Rohrleitungen .....	289
4.5.2	Parallel geschaltete Rohrleitungen .....	292
4.5.3	Beliebig geschaltete Rohrleitungen .....	296
4.6	Anwendungsgleichungen und Diagramme für die Druckverlustberechnung .....	297
4.6.1	Basisgleichung der Druckverlustberechnung .....	297
4.6.2	Bezugssysteme .....	299
4.6.2.1	Gleichwertige Rohrleitungslängen der $\zeta$ -Werte .....	299

4.6.2.2	Rohrleitungen in $\zeta$ -Werte umformen	299
4.6.2.3	Druckverluste in $\zeta$ -Werte umformen	299
4.6.2.4	$\zeta$ -Wert-Ermittlung bei $k_v$ -Wert-Vorgabe bei Armaturen	299
4.6.2.5	Druckverlustberechnung mittels Bezugsquerschnitt	303
4.6.3	Randbedingungen	303
4.6.3.1	Strömungszustand (Gase und Flüssigkeiten)	303
4.6.3.2	Maximale Strömungsgeschwindigkeit (Gase)	303
4.6.3.3	Kavitationserscheinungen (Flüssigkeiten)	305
4.6.4	Anwendungsgleichungen	305
4.6.4.1	Wasserleitungen	305
4.6.4.2	Luftleitungen	305
4.6.4.3	Leistungsbedarf für die Überwindung des Druckverlustes	308
<b>5</b>	<b>Temperaturdämmung</b>	<b>311</b>
5.1	Dämmstoffe	311
5.1.1	Schaumstoffe	311
5.1.2	Fasermaterialien	313
5.1.2.1	Mineralfasern	313
5.1.2.2	Keramikfasern	314
5.1.3	Metallfolien	314
5.1.4	Hilfsmaterialien	314
5.2	Unterkonstruktion	314
5.3	Äußere Verkleidung	315
5.4	Ausführungen	316
5.4.1	Ausführung für Wärmedämmung	316
5.4.2	Ausführung für Kälte­dämmung	323
5.5	Bemessung der Dämmdicken	323
5.5.1	Wärme­verlustberechnung	323
5.5.2	Temperaturabfall im Rohr	326
5.5.3	Wirtschaftliche Dämmdicke	326
5.5.4	Minimal zulässige Dämmdicke (Berührungsschutz)	330
5.5.5	Ungedämmte Stellen im System	330
5.6	Kondensatanfall in Rohrleitungen	334
5.7	Schutz vor Taupunkt-Temperaturunterschreitung	335
<b>6</b>	<b>Bauvorschriften und Prüfungen</b>	<b>337</b>
6.1	Herstellung von Rohrleitungen aus Stahl	337
6.1.1	Anforderungen an Schweißverbindungen	339
6.2	Rohrleitungskennzeichnung	349
<b>7</b>	<b>Konstruktions- und Planungsrichtlinien</b>	<b>351</b>
7.1	Projektbearbeitungsschema	351
7.2	Auslegung	352
7.2.1	Lastfälle	352
7.2.2	Berechnung	352
7.2.3	Planungsabstände, Zwischenräume	352
7.2.4	Maßtoleranzen	353
7.2.5	Rohrleitungshalterungen	354
7.2.6	Rohrleitungsunterstützungen	355
7.2.7	Flanschverbindungen	355
7.2.8	Druckhaltende Ausrüstungsteile	356
7.2.9	Rohrleitungen an Pumpen und anderen Maschinen	356
7.2.10	Dampf- und Kondensatleitungen	356
7.2.11	Druckluft- und Steuerluftleitungen (getrocknete Luft mit 4,0...6,0 bar Überdruck)	357
7.2.12	Mantelrohrleitungen	357
7.2.13	Dokumentation, Protokolle, Prüfungen	357

---

7.3	Typische Konstruktionsrichtlinien	358
7.3.1	Entlüftungen	358
7.3.2	Entleerungen	359
7.3.3	Kondensatableitung	359
7.3.4	Sicherheits-Abblaseinrichtungen	359
7.3.5	Warmgehende Rohrleitungen	359
7.3.6	Kaltgehende Rohrleitungen	361
7.3.7	Begleitheizung	361
7.4	Anschlüsse an Aggregaten und Apparaten	363
7.4.1	Kraft- und Arbeitsmaschinen	363
7.4.2	Apparate	363
7.5	Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)	365
7.5.1	Regelarmaturen	365
7.5.2	Messstellen	365
7.6	Rohrleitungsverlegung	365
7.6.1	Verlegung im Gebäude	365
7.6.2	Verlegung auf einer Rohrbrücke	366
7.7	Druckanstieg bei Wärmeeinwirkung auf eine eingeschlossene Flüssigkeit	367
7.8	Kondensatableitung	367
8	Kostenermittlung	373
8.1	Preiskalkulation	373
8.2	Vorausbestimmung der Montagedauer	374
9	Zusammenfassung der wichtigsten Gleichungen	377
	Literaturverzeichnis	383
	Stichwortverzeichnis	385