

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort .....	5
<b>Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen .....</b>	<b>13</b>
<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 (Nenndruck) .....	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 Wechselspannung .....	255
	3.5.2.7 Zulässige Spannung .....	257
3.6	Rohrleitungen aus Kunststoff .....	258
3.6.1	Rohrverlegung .....	260
3.6.2	Biegeschenkellänge $L_A$ .....	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
<b>4</b>	<b>Strömungstechnik</b> .....	<b>273</b>
4.1	Wahl der Strömungsgeschwindigkeit und des Rohrrinnendurchmessers .....	273
4.2	Druckabfallberechnung .....	275
	4.2.1 Inkompressible Medien (Flüssigkeiten) .....	275
	4.2.2 Kompressible Medien (Gase und Dämpfe) .....	278
4.3	Feststofftransport .....	278
	4.3.1 Gemische aus Gas und Feststoff (pneumatische Förderung) .....	278
	4.3.1.1 Wahl der Transportgasgeschwindigkeit .....	278
	4.3.1.2 Druckabfall .....	280
	4.3.2 Gemisch aus Flüssigkeit und Feststoff (hydraulische Förderung) .....	282
4.4	Rohrkennlinie (Anlagenkennlinie) .....	284
4.5	Kennlinien von Rohrsystemen .....	285
	4.5.1 Hintereinandergeschaltete Rohrleitungen .....	285
	4.5.2 Parallel geschaltete Rohrleitungen .....	288
	4.5.3 Beliebig geschaltete Rohrleitungen .....	292
4.6	Anwendungsgleichungen und Diagramme für die Druckverlustberechnung .....	293
	4.6.1 Basisgleichung der Druckverlustberechnung .....	293
	4.6.2 Bezugssysteme .....	295
	4.6.2.1 Gleichwertige Rohrleitungslängen der $\zeta$ -Werte .....	295

4.6.2.2	Rohrleitungen in $\zeta$ -Werte umformen	295
4.6.2.3	Druckverluste in $\zeta$ -Werte umformen	295
4.6.2.4	$\zeta$ -Wert-Ermittlung bei $k_v$ -Wert-Vorgabe bei Armaturen	295
4.6.2.5	Druckverlustberechnung mittels Bezugsquerschnitt	299
4.6.3	Randbedingungen	299
4.6.3.1	Strömungszustand (Gase und Flüssigkeiten)	299
4.6.3.2	Maximale Strömungsgeschwindigkeit (Gase)	299
4.6.3.3	Kavitationserscheinungen (Flüssigkeiten)	301
4.6.4	Anwendungsgleichungen	301
4.6.4.1	Wasserleitungen	301
4.6.4.2	Luftleitungen	301
4.6.4.3	Leistungsbedarf für die Überwindung des Druckverlustes	304
<b>5</b>	<b>Temperatordämmung</b>	<b>307</b>
5.1	Dämmstoffe	307
5.1.1	Schaumstoffe	307
5.1.2	Fasermaterialien	309
5.1.2.1	Mineralfasern	309
5.1.2.2	Keramikfasern	310
5.1.3	Metallfolien	310
5.1.4	Hilfsmaterialien	310
5.2	Unterkonstruktion	310
5.3	Äußere Verkleidung	311
5.4	Ausführungen	312
5.4.1	Ausführung für Wärmedämmung	312
5.4.2	Ausführung für Kälte­dämmung	319
5.5	Bemessung der Dämmdicken	319
5.5.1	Wärme­verlustberechnung	319
5.5.2	Temperaturabfall im Rohr	322
5.5.3	Wirtschaftliche Dämmdicke	322
5.5.4	Minimal zulässige Dämmdicke (Berührungsschutz)	326
5.5.5	Ungedämmte Stellen im System	326
5.6	Kondensatanfall in Rohrleitungen	330
5.7	Schutz vor Taupunkt-Temperaturunterschreitung	331
<b>6</b>	<b>Bauvorschriften und Prüfungen</b>	<b>333</b>
6.1	Herstellung von Rohrleitungen aus Stahl	333
6.1.1	Anforderungen an Schweißverbindungen	335
6.2	Rohrleitungskennzeichnung	345
<b>7</b>	<b>Konstruktions- und Planungsrichtlinien</b>	<b>347</b>
7.1	Projektbearbeitungsschema	347
7.2	Auslegung	348
7.2.1	Lastfälle	348
7.2.2	Berechnung	348
7.2.3	Planungsabstände, Zwischenräume	348
7.2.4	Maßtoleranzen	349
7.2.5	Rohrleitungshalterungen	350
7.2.6	Rohrleitungsunterstützungen	351
7.2.7	Flanschverbindungen	351
7.2.8	Druckhaltende Ausrüstungsteile	352
7.2.9	Rohrleitungen an Pumpen und anderen Maschinen	352
7.2.10	Dampf- und Kondensatleitungen	352
7.2.11	Druckluft- und Steuerluftleitungen (getrocknete Luft mit 4,0...6,0 bar Überdruck)	353
7.2.12	Mantelrohrleitungen	353
7.2.13	Dokumentation, Protokolle, Prüfungen	353

---

7.3	Typische Konstruktionsrichtlinien	354
7.3.1	Entlüftungen	354
7.3.2	Entleerungen	355
7.3.3	Kondensatableitung	355
7.3.4	Sicherheits-Abblaseeinrichtungen	355
7.3.5	Warmgehende Rohrleitungen	355
7.3.6	Kaltgehende Rohrleitungen	357
7.3.7	Begleitheizung	357
7.4	Anschlüsse an Aggregaten und Apparaten	359
7.4.1	Kraft- und Arbeitsmaschinen	359
7.4.2	Apparate	359
7.5	Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)	361
7.5.1	Regelarmaturen	361
7.5.2	Messstellen	361
7.6	Rohrleitungsverlegung	361
7.6.1	Verlegung im Gebäude	361
7.6.2	Verlegung auf einer Rohrbrücke	362
7.7	Druckanstieg bei Wärmeeinwirkung auf eine eingeschlossene Flüssigkeit	363
7.8	Kondensatableitung	363
<b>8</b>	<b>Kostenermittlung</b>	<b>371</b>
8.1	Preiskalkulation	371
8.2	Vorausbestimmung der Montagedauer	372
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung der wichtigsten Gleichungen</b>	<b>375</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>381</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>383</b>