
Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen	11
1 Einleitung	15
2 Allgemeine Analyse des mechanischen Verhaltens	17
2.1 Spannungsanalyse	17
2.1.1 Primäre Spannungen	17
2.1.2 Sekundäre Spannungen	17
2.1.3 Spannungsspitzen	17
2.1.4 Vergleichsspannungen	18
2.2 Ermüdungs- und Sprödbuchanalyse	18
2.3 Spezielle Berechnungsmethoden	18
2.3.1 Stufenkörpermethode (SKM)	18
2.3.2 Methode der finiten Differenzen (FDM) sowie finiten Elemente (FEM)	18
3 Festigkeitsberechnung	21
3.1 Flüssigkeitsdruck	21
3.1.1 Druck aus Gewichtskraft	21
3.1.2 Druckkraft gegen gekrümmte Wände	21
3.2 Berechnung von Rohren (Zylindern)	22
3.2.1 Innendruckbeanspruchung	22
3.2.1.1 Umfangsspannung	23
3.2.1.2 Längsspannung	23
3.2.1.3 Radialspannung	23
3.2.2 Vergleichsspannung	23
3.2.2.1 Gestaltänderungshypothese	24
3.2.2.2 Schubspannungshypothese	24
3.2.2.3 Normalspannungshypothese	24
3.2.3 Mittlere Vergleichsspannung im Zylinder	24
3.2.3.1 Mittlere Umfangsspannung	24
3.2.3.2 Mittlere Längsspannung	25
3.2.3.3 Mittlere Vergleichsspannung	25
3.2.4 Rechnerische Rohrwanddicke	27
3.2.4.1 Abgrenzung des Geltungsbereiches	28
3.2.4.1.1 Spannungsvergleich	28
3.2.4.1.2 Berücksichtigung der Verformbarkeit der Werkstoffe	28
3.2.4.1.3 Geltungsbereiche in den Regelwerken	31
3.2.5 Berechnungsgrößen	32
3.2.5.1 Berechnungsformel	33
3.2.5.2 Zuschlag c_1 zum Ausgleich der zulässigen Wanddicken-Unterschreitung	33
3.2.5.3 Zuschlag c_2 für Korrosion bzw. Abnutzung	35
3.2.5.4 Berechnungsdruck p	35
3.2.5.5 Berechnungstemperatur ϑ	35
3.2.5.6 Zulässige Beanspruchung σ_{zul}	36
3.2.5.7 Festigkeitskennwert K	36
3.2.5.8 Sicherheitsbeiwert S	36
3.2.5.9 Schweißnahtwertigkeit v_N	36
3.2.6 Prüfdruck für das einzelne Rohr	39

3.3	Berechnung von Abzweigungen	41
3.3.1	Allgemeines Flächenvergleichsverfahren	41
3.3.2	Bestimmung der tragenden Längen	42
3.3.3	Druckbeaufschlagte und tragende Flächen	43
3.3.4	Verschwächungsfaktor	44
3.3.5	Rohrleitungen mit schrägem Einzelabzweig	46
3.3.6	Rohrleitungen mit mehreren Ausschnitten oder Abzweigungen in Längsrichtung	46
3.3.7	Rohrleitungen mit Ausschnitten oder Abzweigen mit einem Winkel zur Längsrichtung	49
3.3.8	Rohrabzweigungen mit Verstärkungen	50
3.4	Berechnung von Rohrbögen	52
3.5	Berechnung von Segmentbögen	56
3.6	Berechnung von Rohrerweiterung	56
3.7	Berechnung von Rohrab schlüssen	57
3.7.1	Gewölbte Böden	57
3.7.2	Ebener Boden	58
3.8	Berechnung von kegelförmigen Reduzierstücken	61
3.8.1	Rohrkegel mit einem Kegelwinkel kleiner 70°	62
3.8.2	Rohrkegel mit einem Kegelwinkel größer 70°	63
3.8.3	Kegelkrempe	63
3.9	Bauteile unter äußerem Überdruck	68
3.9.1	Einbeulen von Rohrteilen	68
3.9.1.1	Rohre (Zylinder)	68
3.9.1.2	Böden	69
3.9.1.3	Sicherheitsfaktor	69
3.10	Veränderliche Innendruckbeanspruchung	71
3.11	Druckstoß	74
3.12	Primäre Zusatzbeanspruchungen	80
3.13	Sekundäre Zusatzspannungen	81
3.13.1	Beurteilung der sekundären Zusatzspannungen	81
3.14	Wärmespannungen	81
3.14.1	Stationäre Wärmespannungen	82
3.14.1.1	Wärmespannungen und mechanische Spannungen	84
3.14.2	Instationäre Wärmespannungen	85
3.14.2.1	Thermoschockspannung	85
3.14.2.2	Quasistationäre Wärmespannung	86
3.14.3	Ermüdungsanalyse (Wärmespannungsrisse)	88
3.15	Flanschverbindungen	90
3.15.1	Äußere Kräfte	90
3.15.2	Dichtungskraft	91
3.15.3	Schraubenkraft	99
3.15.3.1	Äußere Momente	100
3.15.4	Flanschwiderstand	100
3.15.5	Kraft-Verformungs-Verhältnisse	121
3.15.5.1	Verspannungsschaubild bei den verschiedenen Betriebszuständen	127
3.15.6	Schraubenanzugsmomente	133
3.15.7	Spezielle Betrachtungen zum Anwendungsbereich von Graphit mit Metalleinlage-Dichtungen in Rohrleitungs-Flanschverbindungen	136
3.15.7.1	Anwendungsbereich der Graphit-Dichtungen	136
3.15.7.2	Dichtungskräfte	136
3.16	Festigkeitsberechnungen von Gehäusen	150
3.16.1	Kugelige Grundkörper ohne Ausschnitte	150
3.16.2	Grundkörper mit Oval- bzw. Vierkantquerschnitten ohne Abzweig	150
3.16.3	Grundkörper mit ebenen Abflachungen	154
3.16.4	Tellerböden	154
3.16.5	Gehäusekörper mit Abzweig	155
3.17	Balgkompensatoren	156

3.18	Berechnung von Kunststoffbauteilen	157
3.18.1	Kunststoffrohrleitungen	157
3.18.2	Kunststoff-Rechteckbehälter	160
4	Spezielle Hinweise für den Apparate- und Druckbehälterbau	161
4.1	Anwendungsgleichungen und -diagramme nach AD2000	161
4.2	Ausrüstung	184
4.2.1	Berstsicherungen	184
4.2.1.1	Allgemeines	184
4.2.1.2	Konstruktiver Aufbau	184
4.2.1.3	Bemessung von Berstsicherung und Zuleitung	184
4.2.1.4	Bemessung bei schnellem Druckanstieg	187
4.2.2	Sicherheitsventile	188
4.2.2.1	Allgemeines	188
4.2.2.2	Größenbemessung	189
4.2.2.3	Querschnitte, Leitungen, Einbau	189
4.2.2.4	Auswahlkriterien für Sicherheitsventile	190
4.2.3	Öffnungen und Verschlüsse	197
4.3	Prüfung	197
4.3.1	Druckgeräterichtlinie (DGRL)	197
4.3.2	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)	201
4.3.3	Betriebssicherungsverordnung (BetrSichV)	201
5	Werkstoffe	205
5.1	Rohre und Bleche	205
5.1.1	Unlegierte Stähle	205
5.1.2	Warmfeste und hochwarmfeste Stähle	205
5.1.3	Nichtrostende und säurebeständige Stähle	207
5.1.4	Hitzebeständige Stähle	208
5.1.5	Kaltzähe Stähle	209
5.1.6	Druckwasserstoffbeständige Stähle	209
5.1.7	Fernleitungen	210
5.1.8	Feinkornstähle	210
5.1.9	Stahlguss	210
5.2	Flansche	210
5.3	Schrauben und Muttern	210
5.3.1	Sonstige Werkstofftabellen	210
5.4	Thermoplastische Kunststoffe	210
5.4.1	Werkstoffeigenschaften von PE-HD (Polyethylen hoher Dichte)	210
5.4.2	Werkstoffeigenschaften von PP (Polypropylen)	211
5.4.3	Werkstoffeigenschaften von PVDF (Polyvinylidenfluorid)	212
5.4.4	Die chemische Widerstandsfähigkeit von thermoplastischen Kunststoffen	212
5.5	Physikalische Eigenschaften von Stählen	213
5.5.1	Systematische Einteilung der metallischen Werkstoffe für Druckgeräte und industrielle Rohrleitungen	213
5.6	Zusammenstellung der wichtigsten Bestimmungsgleichungen für Rohrleitungselemente	276
Literaturverzeichnis		279
Stichwortverzeichnis		281