

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	5	3.2.5	Berechnungsgrößen . . . . .	27
<b>Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen</b> . . . . .	9	3.2.5.1	Berechnungsformel . . . . .	27
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	13	3.2.5.2	Zuschlag $c_1$ zum Ausgleich der zulässigen Wanddicken- Unterschreitung . . . . .	29
<b>2 Allgemeine Analyse des mechanischen Verhaltens</b> . . . . .	14	3.2.5.3	Zuschlag $c_2$ für Korrosion bzw. Abnutzung . . . . .	29
2.1 Spannungsanalyse . . . . .	14	3.2.5.4	Berechnungsdruck $p$ . . . . .	29
2.1.1 Primäre Spannungen . . . . .	14	3.2.5.5	Berechnungstemperatur . . . . .	30
2.1.2 Sekundäre Spannungen . . . . .	14	3.2.5.6	Zulässige Beanspruchung $\sigma_{zul}$ . . . . .	30
2.1.3 Spannungsspitzen . . . . .	14	3.2.5.7	Festigkeitskennwert $K$ . . . . .	30
2.1.4 Vergleichsspannungen . . . . .	14	3.2.5.8	Sicherheitsbeiwert $S$ . . . . .	30
2.2 Ermüdungs- und Sprödbruchanalyse . . . . .	15	3.2.5.9	Schweißnahtwertigkeit $v_N$ . . . . .	31
2.3 Spezielle Berechnungsmethoden . . . . .	15	3.2.6	Prüfdruck für das einzelne Rohr . . . . .	31
2.3.1 Stufenkörpermethode (SKM) . . . . .	15	3.3	Berechnung von Abzweigungen . . . . .	35
2.3.2 Methode der finiten Differenzen (FDM) sowie finiten Elemente (FEM) . . . . .	15	3.3.1	Allgemeines Flächenvergleichs- verfahren . . . . .	35
<b>3 Festigkeitsberechnung</b> . . . . .	17	3.3.2	Bestimmung der tragenden Längen . . . . .	35
3.1 Flüssigkeitsdruck . . . . .	17	3.3.3	Druckbeaufschlagte und tragende Flächen . . . . .	37
3.1.1 Druck aus Gewichtskraft . . . . .	17	3.3.4	Verschwächungsfaktor . . . . .	37
3.1.2 Druckkraft gegen gekrümmte Wände . . . . .	18	3.3.5	Rohrleitungen mit schrägem Einzelabzweig . . . . .	40
3.2 Berechnung von Rohren (Zylindern) . . . . .	18	3.3.6	Rohrleitungen mit mehreren Ausschnitten oder Abzweigungen in Längsrichtung . . . . .	41
3.2.1 Innendruckbeanspruchung . . . . .	18	3.3.7	Rohrleitungen mit Ausschnitten oder Abzweigen mit einem Winkel zur Längsrichtung . . . . .	42
3.2.1.1 Umfangsspannung . . . . .	19	3.3.8	Rohrabzweigungen mit Verstärkungen . . . . .	43
3.2.1.2 Längsspannung . . . . .	19	3.4	Berechnung von Rohrbögen . . . . .	45
3.2.1.3 Radialspannung . . . . .	19	3.5	Berechnung von Segmentbögen . . . . .	48
3.2.2 Vergleichsspannung . . . . .	19	3.6	Berechnung von Rohrerweiterung . . . . .	49
3.2.2.1 Gestaltänderungshypothese . . . . .	20	3.7	Berechnung von Rohrabschlüssen . . . . .	49
3.2.2.2 Schubspannungshypothese . . . . .	20	3.7.1	Gewölbte Böden . . . . .	49
3.2.2.3 Normalspannungshypothese . . . . .	20	3.7.2	Ebene Scheibe . . . . .	53
3.2.3 Mittlere Vergleichsspannung im Rohr (Zylinder) . . . . .	20	3.8	Berechnung von kegelförmigen Reduzierstücken . . . . .	55
3.2.3.1 Mittlere Umfangsspannung . . . . .	20	3.8.1	Rohrkegel mit einem Kegelwinkel kleiner $70^\circ$ . . . . .	55
3.2.3.2 Mittlere Längsspannung . . . . .	20	3.8.2	Rohrkegel mit einem Kegelwinkel größer $70^\circ$ . . . . .	56
3.2.3.3 Mittlere Vergleichsspannung . . . . .	21	3.8.3	Kegelkrempe . . . . .	56
3.2.4 Rechnerische Rohrwanddicke . . . . .	23	3.9	Bauteile unter äußerem Überdruck . . . . .	60
3.2.4.1 Abgrenzung des Geltungs- bereiches . . . . .	23	3.9.1	Einbeulen von Rohrteilen . . . . .	61
3.2.4.1.1 Spannungsvergleich . . . . .	23	3.9.1.1	Rohre (Zylinder) . . . . .	61
3.2.4.1.2 Berücksichtigung der Verform- barkeit der Werkstoffe . . . . .	24			
3.2.4.1.3 Geltungsbereiche in den Regelwerken . . . . .	26			

3.9.1.2	Böden	61	3.18	Berechnung von Kunststoffbauteilen	118
3.9.1.3	Sicherheitsfaktor	61	3.18.1	Kunststoffrohrleitungen	118
3.10	Veränderliche Innendruckbeanspruchung	62	3.18.2	Kunststoff-Rechteckbehälter	119
3.10.1	Grenzlasterpielzahlen	64	<b>4</b>	<b>Spezielle Hinweise für den Apparat- und Druckbehälterbau</b>	123
3.10.1.1	Abgrenzung	64	4.1	Anwendungsgleichungen und -diagramme	123
3.10.2	Schwellende Innendruckbeanspruchung bei Rohren	66	4.2	Ausrüstung und Prüfung	146
3.10.3	Schwellende Innendruckbeanspruchung bei Abzweigen	66	4.2.1	Berstsicherungen	146
3.10.4	Schwellfestigkeit bei gebogenen Rohren	68	4.2.1.1	Allgemeines	146
3.10.5	Schwellfestigkeit bei höheren Temperaturen	68	4.2.1.2	Konstruktiver Aufbau	146
3.10.6	Zulässige Beanspruchung bei Zeitschwingbruch	69	4.2.1.3	Bemessung von Berstsicherung und Zuleitung	146
3.10.7	Zulässige Beanspruchung bei Dauerbruch	69	4.2.1.4	Bemessung bei schnellem Druckanstieg	149
3.11	Druckstoß	69	4.2.2	Sicherheitsventile	149
3.12	Primäre Zusatzbeanspruchungen	73	4.2.2.1	Allgemeines	149
3.13	Sekundäre Zusatzspannungen	73	4.2.2.2	Größenbemessung	150
3.13.1	Beurteilung der sekundären Zusatzspannungen	73	4.2.2.3	Querschnitte, Leitungen, Einbau	152
3.14	Wärmespannungen	74	4.2.2.4	Auswahlkriterien für Sicherheitsventile	153
3.14.1	Stationäre Wärmespannungen	74	4.2.3	Öffnungen und Verschlüsse	158
3.14.2	Instationäre Wärmespannungen	75	4.2.4	Prüfung	159
3.14.2.1	Thermoschockspannung	75	4.2.4.1	Prüfung vor Inbetriebnahme	159
3.14.2.2	Quasistationäre Wärmespannung	76	4.2.4.2	Wiederkehrende Prüfungen	160
3.15	Flanschverbindungen	78	<b>5</b>	<b>Werkstoffe</b>	163
3.15.1	Äußere Kräfte	78	5.1	Rohre bzw. Zylinder und Bleche	163
3.15.2	Schraubkraft	82	5.1.1	Unlegierte Stähle	163
3.15.3	Äußere Momente	83	5.1.2	Warmfeste und hochwarmfeste Stähle	164
3.15.4	Flanschwiderstand	83	5.1.3	Nichtrostende und säurebeständige Stähle	164
3.15.5	Kraft-Verformungs-Verhältnisse	85	5.1.4	Hitzebeständige Stähle	165
3.15.5.1	Verspannungsschaubild bei den verschiedenen Betriebszuständen	90	5.1.5	Kaltzähe Stähle	166
3.15.6	Spezielle Betrachtungen zum Anwendungsbereich von It-Dichtungen in Rohrleitungs-Flanschverbindungen	96	5.1.6	Druckwasserstoffbeständige Stähle	166
3.15.6.1	Anwendungsbereich der It-Dichtungen	96	5.2	Flansche	167
3.15.6.2	Dichtungskräfte	97	5.3	Schrauben und Muttern	167
3.16	Festigkeitsberechnungen von Gehäusen	111	5.4	Thermoplastische Kunststoffe	167
3.16.1	Kugelige Grundkörper ohne Ausschnitte	111	5.4.1	Werkstoffeigenschaften von PE-HD (Polyethylen hoher Dichte)	167
3.16.2	Grundkörper mit Oval- bzw. Vierkantquerschnitten ohne Abzweig	112	5.4.2	Werkstoffeigenschaften von PP (Polypropylen)	167
3.16.3	Grundkörper mit ebenen Abflachungen	115	5.4.3	Werkstoffeigenschaften von PVDF (Polyvinylidenfluorid)	168
3.16.4	Tellerböden	115	5.4.4	Die chemische Widerstandsfähigkeit von thermoplastischen Kunststoffen	168
3.16.5	Gehäusekörper mit Abzweig	116	5.5	Zusammenstellung der wichtigsten Bestimmungsgleichungen für Rohrleitungselemente	193
3.17	Balgkompensatoren	117	<b>Literaturverzeichnis</b>		197
			<b>Stichwortverzeichnis</b>		199