

E. Klapp

Apparate- und Anlagentechnik

Planung, Berechnung, Bau und Betrieb
Stoff- und energiewandelnder Systeme
auf konstruktiver Grundlage

Mit 443 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1980

Inhaltsverzeichnis

1.	Wirtschaftliche Bestiinmungsgrößen	1
1.1	Konstruktion<- und Planungstätigkeiten im Apparate- und Anlagenbau, Begriffe und Übersicht	1
1.2	Planen und Entscheiden	3
1.2.1	Planungstätigkeiten und -abschnitte	4
1.2.1.1	Kostenfindung, Vorkalkulation	4
1.2.1.1.1	Allgemeines	4
1.2.1.1.2	Einzelermittlung der Kosten für Hauptausrüstungen (HAA)	9
1.2.1.1.3	Ermittlung der Investitionskosten mittels Degressionsexponenten und Preisindexkurven	15
1.2.1.1.4	Kostenermittlung durch Zuschlagsfaktoren	16
1.2.1.1.5	Vorkalkulation der Ausgaben	20
1.2.1.2	Standortwahl	22
1.2.1.2.1	Allgemeines	22
1.2.1.2.2	Verkehrslage	23
1.2.1.2.3	Arbeitsmarkt	24
1.2.1.2.4	Energiebedarf und -versorgung	24
1.2.1.2.5	Wasser, Abwasser, Rückkühl verfahren	28
1.2.2	Planungshilfsmittel	32
1.2.2.1	Netzplantechnik	32
1.2.2.2	Fließbilder	36
1.2.2.2.1	Grundfließbild	36
1.2.2.2.2	Verfahrensfließbild	37
1.2.2.2.3	Konstruktives (Rohrleitungs- und Instrumenten-) Fließbild	39
1.2.2.3	Modelle	40
1.2.3	Entscheidungsgrundlagen	43
1.2.3.1	Kostenvergleich	44
1.2.3.2	Kapitalrückflußzeit	44
1.2.3.3	Rentabilität	45
1.2.3.4	Dynamische Investitionsrechnung	46
1.3	Struktur des Herstellers	46
1.3.1	Apparatebau	48
1.3.2	Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau	50
1.3.3	Ingenieurunternehmen, Projektierungsfirmen, Anlagenbau	51
1.4	Wirtschaftliche Bestimmungsgrößen für Planung, Abwicklung und Betrieb	53
1.4.1	Normung, Typisierung	53
1.4.1.1	Normungsebenen	53
1.4.1.2	Rationalisierung durch Normung, Veränderung der Kostenstruktur durch Vereinheitlichungen	55

1.4.1.3	Die wichtigsten Normungsinstitutionen	56
1.4.1.4	Normen für die Chemische Technik	57
1.4.2	Verluste verschiedener Herkunft	61
1.4.2.1	Berechnung von Exergieverlusten	61
1.4.3	Fertigung, Vorfertigung	63
1.4.3.1	Produktionstypen	63
1.4.3.2	Fertigung von Apparaten und Kinzelanrüstungen	64
1.4.3.2.1	Klassifizierungssystem für Baielemente und methodisches Vorgehen bei der Fertigungsplanung	66
1.4.3.3	Vorfertigung, Vormontage im Chemieanlagenbau	69
1.4.4	Auswirkungen von Änderungen	72
Literatur zu Kapitel 1		74
2	Werkstoffe, Fügeverfahren	79
2.1	Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl	79
2.2	Werkstoffeigenschaften, Anwendungsgesichtspunkte	83
2.2.1	Mechanisch-technologische Eigenschaften	83
2.2.2	Physikalische Eigenschaften	85
2.2.3	Metallische Werkstoffe	86
2.2.3.1	Eisenwerkstoffe	86
2.2.3.1.1	Unlegierte und niedriglegierte Eisen Werkstoffe	88
2.2.3.1.2	Hochlegierte ferritische Stähle	91
2.2.3.1.3	Austenitische Stähle	93
2.2.3.2	Nickel und Nickellegierungen	95
2.2.3.3	Sondermetalle (Titan, Tantal, Zirkonium)	95
2.2.4	Kunststoffe	96
2.3	Werkstoffmechanik	100
2.3.1	Plastizität	100
2.3.1.1	Begriffe, Bedeutung der Plastizität für Konstruktionstätigkeiten im Apparate- und Anlagenbau	100
2.3.1.2	Fließhypothesen	104
2.3.1.3	Traglast, Be- und Entlastungsvorgänge im plastischen Bereich	106
2.3.1.4	Kriechen	109
2.3.2	Spannungskonzentration und Stützwirkung	112
2.3.3	Eigenspannungen	115
2.3.3.1	Schweißigenspannungen	117
2.3.3.2	Auswirkungen und Bewertung von Eigenspannungen	119
2.3.3.3	Abbau von Eigenspannungen	120
2.3.4	Ermüdung, Wechselwirkung zwischen Kriechen und Ermüden	121
2.4	Korrosion	126
2.4.1	Allgemeines, Erscheinungsformen der Korrosion	127
2.4.1.1	Elektrochemische Korrosion	128
2.4.1.1.1	Ebenmäßig abtragende Korrosion	128
2.4.1.1.2	Lochfraß	129
2.4.1.1.3	Interkristalline Korrosion	130
2.4.1.1.4	Spaltkorrosion	130
2.4.1.1.5	Kontaktkorrosion	132
2.4.1.2	Elektrochemische Korrosion bei gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung	133
2.4.1.2.1	Spannungsrißkorrosion (SpRK)	133
2.4.1.2.2	Schwingungsrißkorrosion (SRK)	133

2.4.1.2.3	Dehnungsinduzierte (dehnungsgeschwindigkeitsinduzierte) Korrosion	135
2.4.1.3	Strömungsbedingte Korrosion	136
2.4.1.4	Chemische Korrosion mit/ohne mechanische Beanspruchung	137
2.4.1.4.1	Brenngase	137
2.4.1.4.2	Synthesegase (mit Ausnahme Druckwasserstoff).	139
2.4.1.4.3	Druckwasserstoff	139
2.4.1.4.4	Heißwasserkorrosion	140
2.4.1.5	Werkstoffverhalten bei Neutronenbestrahlung	141
2.5	Behandlungsmethoden	142
2.5.1	Wärmebehandlung	142
2.5.2	Oberflächenbehandlung	145
2.6	Fügeverfahren (Schweißen).	150
2.6.1	Schweißverfahren, Entwicklung	151
2.6.1.1	Anwendungsgesichtspunkte (Chemieapparatebau).	153
2.6.1.2	Schweißen im Rohrleitungsbau	155
2.6.2	Schweißbarkeit und Werkstoffbeeinflussung durch das Schweißen	155
2.6.2.1	Vorgänge in der Wärmeeinflußzone (WEZ).	157
2.6.3	Schweißgerechte Gestaltung, konstruktive Durchbildung	161
2.6.4	Fertigungsgesichtspunkte beim Schweißen	163
2.6.5	Spannungsnachweis in Schweißverbindungen.	163
2.6.6	Festigkeit von Schweißverbindungen.	164
2.6.7	Qualitätssicherung, Fehler, Schäden	164
2.6.8	Schweißplattieren, plattierte Werkstoffe.	165
2.6.8.1	Bedeutung von Verbundsystemen, Begriffe.	165
2.6.8.2	Schmelzschweißplattieren.	166
2.6.8.3	Preßschweißplattieren	169
2.6.9	Weiterverarbeitung plattierter Werkstoffe.	170
	Literatur zu Kapitel 2	172
3	Randbedingungen und Auswirkungen von Prozessen auf den Entwurf von Komponenten stoff- und energiewandelnder Produktionseinrichtungen . .	180
3.1	Die Rolle von Prozessen für die Anlagenstruktur.	180
3.1.1	Trennprozesse	182
3.2	Stoffdaten.	184
3.3	Randbedingungen	187
3.3.1	Durch Transportvorgänge bestimmte Randbedingungen	187
3.3.2	Örtliche und zeitliche Randbedingungen	189
3.3.3	Wärmeübergangs- und Wärmedurchgangskoeffizient	191
3.3.4	Druckverlust	194
3.4	Verfahrens- und stoffbezogene Ähnlichkeitskennzahlen.	197
3.5	Wärmezu- und -abfuhr.	198
3.5.1	Ziele und Funktionsmerkmale von Einrichtungen zur Wärmezu- und -abfuhr	198
3.5.2	Eigenschaften und Auswahl von Wärmeträgern.	201
3.5.3	Heiz- und Kühlkreisläufe, Schaltungen	206
3.5.4	Konstruktive Ausführung von Heiz- und Kühlkreisläufen.	209
3.6	Stromführung in Apparaten	210
3.6.1	Begriffe, Allgemeines.	210

3.6.1.1	Phasenverteilungszustände (Strömungsformen)	211
3.6.1.2	Einfluß der Beheizung auf die Phasenverteilung	212
3.6.2	Stromführung in Apparaten zur Wärmeübertragung (Rekuperatoren)	214
3.6.3	Stromführung in Apparaten zur Stoffübertragung	223
3.6.3.1	Rohrbündelapparate	225
3.6.3.2	Kolonnenapparate	233
3.6.4	Stromführung und Bauteilverhalten	240
3.6.4.1	Anregungsmechanismen	241
3.6.4.2	Ansätze zur Beschreibung des Strukturverhaltens	245
3.6.4.3	Auswirkungen der Stromführung auf die Stabilität	248
3.7	Schaltungsalternativen	249
3.7.1	Allgemeines	249
3.7.2	Freiheitsgrad von Prozeßeinheiten	250
3.7.2.1	Einfache Prozeßeinheiten	252
3.7.2.2	Zusammengesetzte Prozeßeinheiten	253
3.7.3	Schaltungsalternativen für Wärmetauscher (WT) und Verdampfer	253
3.7.4	Schaltungsalternativen für Kolonnenapparate für die thermische Trennung	258
3.7.5	Schaltungsgesichtspunkte für Kombinationen von thermischen Apparaten und Arbeitsmaschinen	261
3.7.6	Schaltungsalternativen für Kühlkreisläufe	263
3.8	Fördern und Lagern	263
3.8.1	Allgemeines	264
3.8.2	Förderhilfsmittel	265
3.8.3	Fördermittel	266
3.8.4	Förderung von Flüssigkeiten	268
3.8.5	Förderung und Verdichtung von Gasen	271
3.8.6	Feststofftransport durch Rohrleitungen	274
3.8.7	Lagerung, Bauformen der Lager	276
3.8.8	Dosierung, Dosiereinrichtungen	277
3.9	Isolation (Wärme- und Kälteschutz)	278
3.9.1	Allgemeines	279
3.9.2	Konstruktive Gesichtspunkte beim Wärme- und Kälteschutz	280
3.9.3	Thermodynamische Zusammenhänge	280
3.9.4	Bestimmung der wirtschaftlichsten Dämmstoffdicke für kreiszylindrische Geometrien	282
3.9.5	Überschlägige Bestimmung der Wärmeverluste mit Einsefluß nichtzylindrischer Geometrien	284
3.9.6	Dämmstoffe und Dämmarten	286
3.9.7	Dämmwirkung von Luftschichten (Luftschichtisolierung)	290
3.9.8	Transpirationskühlung	295
	Literatur zu Kapitel 3	296
4	Nachrechnung und Dimensionierung, Konstruktionsprinzipien	303
4.1	Modellbetrachtungen im konstruktiven Apparate- und Anlagenbau; Konstruktionsbezogene Ähnlichkeitskennzahlen	303
4.1.1	Modellgesetze für statische Spannungen und Deformationen	305
4.1.2	Modellgesetze für dynamische Struktureigenschaften	306
4.1.3	Einfache und spezielle Ähnlichkeiten; Maßstabsfaktoren	307
4.1.4	Ähnlichkeitsdefekte und übergeordnete Ähnlichkeiten	309
4.1.5	Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik auf das Bauteilverhalten bei Anregung durch strömende Fluide	310

4.2	Festigkeitsnachweis	311
4.2.1	Nennspannungsnachweis	312
4.2.1.1	Berechnungsdruck und Berechnungstemperatur.	313
4.2.1.2	Regelwerke	314
4.2.2	Sicherheitsbegriff	316
4.2.3	Zuschläge	318
4.2.4	Festigkeitsgerechtes Konstruieren	318
4.3	Verformungsgerechtes Konstruieren	319
4.3.1	Allgemeine Verformungsbetrachtungen.	319
4.3.2	Kriech- und relaxationsgerechtes Konstruieren.	321
4.3.3	Ausdehnungsgerechtes Konstruieren	324
4.3.3.1	Die physikalische Erscheinung der Ausdehnung.	324
4.3.3.2	Geometrisch-kinetische Forderungen an ausdehnungsgerechte .Konstruktionen	324
4.3.3.3	Relativausdehnung und ihre Beherrschung durch geeignete Wahl von Einflußgrößen.	325
4.3.3.4	Beispiele für ausdehnungsgerechtes Gestalten im Apparate- und Anlagenbau	327
4.4	Emissionsfreies Konstruieren, Schallschutzplanung	330
4.4.1	Schallschutzplanung, Allgemeines und Definitionen.	331
4.4.2	Meßgrößen; Mittelungspegel, Summenpegel, Beurteilungspegel, spezifischer Schalleistungspegel.	333
4.4.3	Schallenergiebilanz und Schallausbreitung.	335
4.4.4	Schallschutzmaßnahmen	337
4.5	Rechnerunterstützter Entwurf.	339
4.5.1	Rechnerunterstützter Entwurf, Ziele und Auswirkungen.	339
4.5.2	Rechneranwendung	342
	Literatur zu Kapitel 4.	343
o	Bauteilunabhängige, konstruktionsbezogene Berechnungsverfahren und Phänomene	346
5.1	Produktunabhängige, konstruktionsbezogenen Berechnungsverfahren	346
5.1.1	Allgemeines und Zielsetzung	346
5.1.2	Methode der Finiten Elemente (FE-Methoden).	350
5.1.3	Verfahren der Finiten Differenzen (FD-Verfahren).	354
5.1.4	Stufenkörperverfahren. Übertragungsmatrizen.	356
5.2	Schwingungen.	359
5.2.1	Allgemeines; Schwingungen in Apparaten und Anlagen.	360
5.2.2	Bauteil- und systembezogene Schwingungsuntersuchungen, Schriftumsübersicht	361
5.2.3	Anregungsmechanismen von Einzelrohren und Rohrgruppen.	363
5.2.4	Rechnerische Ermittlung der Eigenfrequenzen von Einzelrohren und Rohrgruppen, Schwingungsnachweis	366
5.2.5	Konstruktive Gesichtspunkte für die Vermeidung strömungsbedingter Schäden in Rohrbündeln.	372
5.3	Stabilitätsfälle.	375
5.3.1	Bedeutung von Stabilitätsfällen für den Anlagenbau; Definitionen; Schadensfälle	376
5.3.2	Grundsätzlicher Aufbau und Gliederung von Beulvorschriften und Berechnungsansätzen für Kreiszyylinder.	377
5.3.3	Glatte (isotrope) Zylinder.	378
5.3.3.1	Elastisches Beulen glatter Zylinder.	378

5.3.3.2	Plastisches Beulen glatter Zylinder.	380
5.3.3.3	Vergleich von Beulvorschriften für glatte Zylinder unter Außendruck	380
5.3.3.4	Beulen gekrümmter Kreisrohre unter Außendruck.	380
5.3.3.5	Beiden glatter Zylinder unter Axiallasten.	381
5.3.4	Der in der Wanddicke abgestufte Zylinder.	382
5.3.5	Der versteifte Zylinder.	383
5.3.5.1	Bemessung von Versteifungen.	385
5.3.6	Kugelschalen.	385
5.4	Wärmespannungen.	386
5.4.1	Verursachung, Begriffe, Bedeutung für Komponenten des Apparate- und Anlagenbaues.	386
5.4.2	Grundgleichung der linearisierten Elastomechanik und Fouriersche Differentialgleichung der Wärmeleitung	387
5.4.3	Grundsätzliche Überlegungen zum Einfluß der Zeit	389
5.4.4	Wärmespannungen in Hohlzylindern.	392
5.4.4.1	Instationäre Wärmespannungen.	392
5.4.4.2	Stationäre Wärmespannungen.	393
5.4.4.3	Überlagerung stationärer Wärme- und Lastspannungen.	395
5.4.4.4	Sonderfälle zylindrischer Geometrien.	397
5.4.4.5	Hohlzylinder mit Wärmequellen.	400
5.4.5	Wärmespannungen in Platten.	401
5.4.5.1	Stationäre Wärmespannungen.	401
5.4.5.2	Instationäre Wärmespannungen.	402
5.4.6	Bewertung von Wärmespannungen.	405
5.4.7	Wärmespannungsgünstige Konstruktionen.	406
5.5	Örtliche Einleitung von Lasten.	407
5.5.1	Allgemeines zu Lastfällen.	407
5.5.2	Der stehende Zylinder (randferner Bereich).	409
5.5.2.1	Theorie.	409
5.5.2.2	Lösungsverfahren.	411
5.5.3	Der liegende zylindrische Behälter.	416
5.5.4	Kegelschalen.	419
5.5.5	Kugelschale und Kugelbehälter.	419
5.5.5.1	Lagerung von Kugelbehältern.	420
5.6	Bruchmechanik.	423
5.6.1	Definitionen; Bedeutung für den Anlagenbau.	423
5.6.2	Untersuchung des Sprödbruchverhaltens.	424
5.6.3	Der A_{1c}^r -Wert als Werkstoffkenngröße.	425
5.6.4	Verhältnisse an der Rißspitze; Zusammenhang zwischen den Rißabmessungen und Nennspannung σ_A	426
5.6.5	Rißöffnungsverschiebungs-Konzept (COD-Konzept).	428
5.6.5.1	Anwendung von COD-Messungen auf Versuchsbehälter.	429
5.6.6	Anwendungsmöglichkeiten der linear-elastischen Bruchmechanik.	430
5.6.6.1	Beurteilung von Fehlern und Festlegung eines Sicherheitsabstandes gegen Sprödbruch, Zähbruch oder unterkritisches Rißwachstum.	431
5.6.6.2	Bruchmechanische Bewertung der Wasserdruckprobe.	434
5.6.7	J-Integral und J_{1c} -Wert	434
	Literatur zu Kapitel 5.	435
<>	Bauteilabhängige Berechnung ¹ und Gestaltung.	445
6.1	Zylindrische Wandungen, Rohre, Schüsse.	446
6.1.1	Allgemeines, Stellung und Funktion zylindrischer Hohlkörper in stoff- und energiewandelnden Anlagen.	449

6.1.2	Rohrformen	450
6.1.3	Berechnung zylindrischer Hohlkörper	452
6.1.3.1	Elastische Hauptspannungen des dickwandigen Hohlzylinders	453
6.1.3.2	Die dünnwandige Zylinderschale	456
6.1.3.3	Dünnwandiges Rohr bei schwellerer Innendruckbeanspruchung	457
6.1.3.4	Der elastisch-plastische Hohlzylinder	458
6.1.3.5	Sonderfälle des ebenen Spannungszustandes in zylindrischen Rohren	460
6.1.3.6	Randstörungen, Einflußlängen	461
6.1.3.7	Die abgesetzte Zylinderschale	463
6.1.3.8	Die durch Ringe versteifte Kreiszyylindersehale unter Innendruck	465
6.1.3.9	Unrunde Zylinderschalen	467
6.2	Rohrbogen	469
6.3	Behälterabschlüsse	471
6.3.1	Ebene Böden	471
6.3.1.1	Funktion in der Anlage, geometrische Variationsbreite, Vorkommenshäufigkeit	472
6.3.1.2	Belastungsarten, Beanspruchung	473
6.3.1.3	Konstruktive Gesichtspunkte	473
6.3.1.4	Verschwächung des Plattenquerschnittes	474
6.3.1.5	Berechnungsansätze, Bemessung	476
6.3.1.5.1	Bemessung von Rohrplatten nach AD-Merkblatt B5 (Näherungsverfahren)	477
6.3.1.5.2	Berücksichtigung überelastischer Verformungen	480
6.3.1.5.3	Grenzen der Kirehoffschen Plattentheorie (dicke Rohrplatten)	481
6.3.1.5.4	Berechnung von Rohrplatten mittels hochentwickelter, analytischer Verfahren	481
6.3.1.5.5	Spannungsnachweis von Rohrplatten nach diskreten Verfahren	482
6.3.2	Gewölbte Böden	484
6.3.2.1	Allgemeines und konstruktive Gesichtspunkte	484
6.3.2.2	Berechnung	485
6.3.3	Hochdruckverschlüsse	488
6.4	Stützen/Durchdringungen	489
6.4.1	Allgemeines, konstruktive Gesichtspunkte	490
6.4.2	Berechnung von Stützen und Ausschnitten	493
6.4.2.1	Berechnung gegen Innendruck	494
6.4.2.2	Beanspruchung durch äußere Kräfte und Momente	496
6.5	Ausgleichselemente	499
6.5.1	Grundsätzliches, Funktion	499
6.5.2	Bauarten	501
6.5.3	Einbau von Ausgleichselementen und Beanspruchungsverhältnisse	501
6.5.4	Berechnung von Balgkompensatoren	504
6.6	Flanschverbindungen	507
6.6.1	Allgemeines	508
6.6.2	Flanschberechnung	510
6.6.2.1	Festigkeitsbedingungen für den festen Flansch	511
6.6.2.2	Zulässige Grenzverformung für Flansche	512
6.6.2.3	Große Apparateflansche (DN 1000 und größer)	513
6.6.2.4	Berechnungsmethodik bei besonderen Dichtheitsforderungen	514
6.6.2.5	Flanschberechnung nach Näherungsverfahren	514
6.6.2.6	Bestimmungsgleichungen für den Flanschwiderstand	518
6.6.2.7	Rechteckflansche und quadratische Losflansche	520
6.6.2.8	Kraft-Verformungs-Verhalten bei erhöhter Temperatur	520
6.6.3	Statische Dichtungen	521
6.6.3.1	Eigenschaften statischer Dichtungen	522
6.6.3.2	Berechnung von statischen Dichtungen	522

6.6.3.3	Gesichtspunkte für ¹ den Entwurf statischer Dichtverbindungen.	523
6.6.3.4	Dichtung und Dichtfläche — Technologie des Dichtens	526
6.6.3.5	Behebung von Leckagen während des Betriebes	528
6.6.4	Schrauben.	529
6.6.4.1	Allgemeines und Konstruktionshinweise.	529
6.6.4.2	Berechnung von Schraubenverbindungen.	530
6.7	Abdichtung bewegter ¹ Bauelemente.	531
6.7.1	Allgemeines.	531
6.7.2	Funktion, Werkstoffe und Anwendungsbereich der Packungsstopfbuchsen	533
6.7.3	Funktion, Werkstoffe und Anwendungsbereich von Gleitringdichtungen	537
6.8	Lagerung umlaufender Apparate- und Anlagenkomponenten	539
6.8.1	Bemessung von Wellen. Gestaltung. Verbindungselemente.	540
6.8.2	Auswahl und Gestaltung von Lagern, Konstruktionshinweise.	545
6.8.3	Abdichtung von Lagern	548
	Literatur zu Kapitel 6.	549
7	Rohrleitungstechnik und -elemente	559
7.1	Planung und Errichtung von Rohrleitungen.	559
7.1.1	Planungsvoraussetzungen, -abschnitte und -ergebnisse bei Produkt- und Energieleitungen.	560
7.1.1.1	Einsatz der EDV für die Rohrleitungsplanung	564
7.1.2	Planungsvoraussetzungen, -abschnitte und -ergebnisse bei Rohrfernleitungen	565
7.1.3	Verfahrens- und strömungstechnische Auslegung von Rohrleitungen	569
7.1.3.1	Widerstandsgesetze.	573
7.1.4	Druckstöße und Druckstoßberechnung	579
7.1.5	Rohrleitungsstatik — Elastizitätsberechnung von Rohrleitungssystemen	582
7.2	Rohrleitungselemente	585
7.2.1	Armaturen (Rohrleitungsschalter).	585
7.2.1.1	Allgemeines.	586
7.2.1.2	Ventile, Schieber, Hähne, Klappen.	587
7.2.1.3	Auslegung von Stellgliedern, insbesondere von Ventilen.	589
7.2.1.4	Stellantriebe in der Prozeßtechnik	591
7.2.1.5	Sicherheitsventile.	593
7.2.2	Formstücke (Fittings).	595
7.2.3	Rohrhalterungen	596
7.2.4	Begleitheizung von Rohren.	599
	Literatur zu Kapitel 7.	603
8	Berechnung und Gestaltung von Baugruppen	607
8.1	Apparate für die Wärmeübertragung (Rohrbündelapparate) einschließlich Verdampfern.	607
8.1.1	Einsatz- und Funktionsmerkmale, wärmetechnische Auslegung	607
8.1.2	Bauarten und Konstruktionsprinzipien der Rohrbündelapparate.	609
8.1.3	Entwurf von Rohrböden, Verbindung Rohr/Rohrplatte.	612
8.1.4	Sonderbauarten.	617
8.1.5	Hochtemperaturwärmeübertrager.	620
8.1.6	Verdampfer und Eindampfapparate.	627
8.1.7	Dünnschichtapparate.	631

8.2	Druckbehälter.	632
8.2.1	Funktion von Druckbehältern (DB), Stellung im Betrieb.	633
8.2.2	Berechnung und Gestaltung von Druckbehältern (DB).	637
8.2.2.1	Elemente, Baugruppen, Zusatzausrüstungen.	637
8.2.2.2	Versagensarten und Werkstoffverhalten — Folgerungen für die Konstruktion von Druckbehältern.	638
8.2.2.3	Berechnung von Vollwanddruckbehältern.	640
8.2.2.3.1	Autofrettage.	647
8.2.2.4	Funktionstrennung in Behälterwandungen, Verbund, Auskleidung.	651
8.2.2.5	Wechselbeanspruchung von Behältern.	655
8.2.3	Druckbehälter in Mehrlagenbauweise.	657
8.2.3.1	Bauarten der Mehrlagenbehälter.	659
8.2.3.1.1	Mechanischer Verbund.	659
8.2.3.1.2	Geschweißter Verbund.	659
8.2.3.2	Doppelmantel- (Doppelwand-) Behälter.	662
8.2.3.3	Berechnung von Mehrlagendruckbehältern.	664
8.3	Kolonnenapparate einschließlich Einbauten.	668
8.3.1	Allgemeine Gesichtspunkte.	668
8.3.2	Wahl des Kolonnendurchmessers.	669
8.3.3	Unterscheidungsmerkmale der Austauschböden.	671
8.3.4	Befestigung und Abdichtung von Kolonnenböden, Gesichtspunkte für die Gestaltung von Kolonnenapparaten.	675
8.3.5	Fertigungsgesichtspunkte, Werkstoffwahl.	680
8.3.6	Festigkeitsberechnung von Kolonnenapparaten.	680
8.3.6.1	Eingangsgrößen für die Kolonnenberechnung.	681
8.3.6.2	Übersichtsskizze.	681
8.3.6.3	Lastkombinationen.	681
8.3.6.4	Stand sicherheitsnachweis, Festigkeitsnachweis.	682
8.3.6.5	Ergebnisse (gegebenenfalls Rechnerausgabe).	683
	Literatur zu Kapitel 8.	683
9	Montage, Anlagenaufstellung Betrieb.	689
9.1	Anordnungsbeziehungen, Aufstellungsplan.	689
9.1.1	Allgemeines.	689
9.1.2	Voraussetzungen für die Klärung von Anordnungsbeziehungen.	690
9.1.3	Informationsgehalt und Zielaspekte des Layouts im Hinblick auf die Aufstellungsplanung.	691
9.2	Fundamente.	694
9.2.1	Allgemeines.	694
9.2.2	Bemessung von Fundamenten.	695
9.2.2.1	Sohldruckverteilungen.	695
9.2.2.2	Berechnung der Sohldruckverteilung.	696
9.2.2.3	Baugrundmodelle.	697
9.2.2.4	Statischer- Nachweis für Flächengründungen.	698
9.2.3	Bauliche Ausführung von Fundamenten.	702
9.3	Stahl- und Gerüstbau.	705
9.3.1	Allgemeines.	707
9.3.2	Lastannahmen.	708
9.3.2.1	Hauptlasten für Stahlkonstruktionen in Chemieanlagen.	708
9.3.2.2	Zusatzlasten für Stahlkonstruktionen in Chemieanlagen.	709
9.3.2.3	Sonderlasten für Stahlkonstruktionen in Chemieanlagen.	709
9.3.3	Festigkeit- und Stabilitätsnachweis.	709

9.3.4	Spannungsnachweis für Schweißnähte	712
9.3.5	Werkstoffe und Korrosionsschutz	714
9.3.6	Bauliche Durchbildung von Rahmentragwerken	715
9.3.7	Trägerlagerung, Stützenfüße, Verankerung	719
9.3.8	Rohr- und Energiebrücken	721
9.3.9	Vereinbarungsbereich für die Vergabe von Stahlbauarbeiten	722
9.4	Montage	723
9.4.1	Zum Begriff Montage	723
9.4.2	Montageorganisation	724
9.4.3	Transport, Montagehilfsmittel	727
9.4.4	Behälter- und Sondermontagen	730
9.4.5	Rohrleitungsmontagen	730
9.4.6	Rechnereinsatz für Montageplanung und -leitung	733
9.5	Inbetriebnahme	734
9.6	Möglichkeiten zur Begehung und Entleerung	737
9.7	Instandhaltung	738
9.7.1	Allgemeines	738
9.7.2	Bereiche der Instandhaltung	739
9.7.3	Instandhaltungskosten	741
9.7.4	Schwachstellenforschung	741
	Literatur zu Kapitel 9	742
10	Sicherheit und Zuverlässigkeit	745
10.1	Verfügbarkeit	746
10.1.1	Verfügbarkeit im technischen Sprachgebrauch	746
10.1.2	Statistische Definition der Verfügbarkeit; Zuverlässigkeit von Einzelausrüstungen und Systemen	748
10.1.2.1	Zuverlässigkeitsparameter	748
10.1.2.2	Zuverlässigkeit von Einzelausrüstungen	749
10.1.2.3	Zuverlässigkeit von Systemen und Anlagen	751
10.1.3	Redundanz und Reserve	753
10.2	Maßnahmen zur ¹ Steigerung der Verfügbarkeit	755
10.2.1	Risikobetrachtungen	757
10.2.1.1	Risiken in stoff- und energiewandelnden Anlagen, Schwellenwerte	757
10.2.1.2	Unerwünschte exotherme Reaktionen, Entspannungsvorgänge	759
10.2.1.3	Kontinuierliche und diskontinuierliche Betriebsführung	750
10.2.1.4	Maßnahmen zur Vermeidung von Explosionen und Bränden sowie von Schäden durch unzulässigen Druckanstieg	761
10.2.2	Bereiche der Sicherheitstechnik und Sicherheitsprinzipien	763
10.2.2.1	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Sicherheitstechnik aus konstruktiver Sicht	765
10.2.2.2	Mittelbare Sicherheitstechnik. Schutzsysteme	768
10.3	Prüfen und Prüfverfahren	771
10.3.1	Prüf Instanzen	775
10.3.2	Prüfungen und ihre zeitliche Zuordnung zu den verschiedenen Fertigungs- und Betriebsabschnitten	775
10.3.2.1	Vorabprüfungen	776
10.3.2.2	Primärprüfungen	776
10.3.2.3	Sekundärprüfungen	778

10.3.2.4	Wiederholungsprüfungen	. . . . .	. 781
10.3.3	Prüfverfahren	. . . . .	. 781
10.3.3.1	Oberflächenrißprüfverfahren	. . . . .	. 783
10.3.3.2	Radiografische Verfahren (Durchstrahlungsverfahren)	. . . . .	. 784
10.3.3.3	Ultraschallverfahren	. . . . .	. 786
10.3.3.4	Dichtheitsprüflingen	. . . . .	. 787
10.4	Vorschriften	. . . . .	. 788
10.4.1	Grundsätze und gesetzliche Verankerung	. . . . .	. 788
10.4.2	Genehmigungspflichtige Anlagen	. . . . .	. 789
10.4.3	Vorschriften für Bau und Abnahme von Apparaten in stoffumwandelnden Anlagen	. . . . .	. 791
10.4.4	Nationale Vorschriften für Bau und Betrieb von Druckbehältern	. . . . .	. 793
10.4.5	Stand der abgedruckten AD-Merkblätter	. . . . .	. 795
10.5	Fehler und Schäden	. . . . .	. 796
10.5.1	Definitionen, Erscheinungsformen, Übertragbarkeit	. . . . .	. 796
10.5.2	Schadensursachen	. . . . .	. 797
10.5.2.1	Ursachengruppe Bruch, und Verformung	. . . . .	. 799
10.5.2.2	Ursachengruppe Korrosion	. . . . .	. 805
10.5.3	Methodik der Beurteilung und Bewertung von Schäden	. . . . .	. 808
10.5.4	Beispiele für Bedienungs- und Herstellungsfehler	. . . . .	. 810
10.5.5	Wirtschaftliche Bewertung von Fehlern/Schäden	. . . . .	. 813
	Literatur zu Kapitel 10	. . . . .	. 814
	Sachverzeichnis	. . . . .	. 819

Hinweise zur Numerierung

Die Bilder sind in jedem Kapitel neu numeriert, wobei die Kapitelnummer der laufenden Bildnummer vorangestellt wird, z. B. Bild 3-4.

Gleichungen und Tabellen sind innerhalb der Abschnitte oder Unterabschnitte neu numeriert, die Abschnittsnummern sind auch hier der laufenden Nummer vorangestellt, z. B. Tabelle 3.4-2 oder Gleichung (3.4.6-3).

Die Literatur ist kapitelweise zusammengestellt und numeriert. Die jeweiligen Verzeichnisse stehen am Ende des betreffenden Kapitels (s. auch Inhaltsverzeichnis). Die Hinweise im Text auf die Literatur stehen in eckigen Klammern und geben die laufende(n) Zitatnummer(n) des zu dem betreffenden Kapitel gehörenden Verzeichnisses an, z. B. [6], [7—12, 14]. Eine Nennung der Kapitelnummer erfolgt hier nicht. Lediglich bei den wenigen Verweisen auf die Literatur eines anderen Kapitels wird dieses genannt.

Die in den Literaturverzeichnissen häufig zitierte Zeitschrift „Chemie-Ingenieur-Technik“ wird durch CIT abgekürzt.