

Inhaltsverzeichnis

1.	Wirtschaftliche Bestimmungsgrößen	1
1.1	Konstruktions- 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, Rückkühlverfahren	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 Einzelausrüstungen	64
1.4.3.2.1	Klassifizierungssystem für Bauelemente 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 Eisenwerkstoffe	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	Schweiß eigenspannungen	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 Einschluß 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
5	Bauteilunabhängige, konstruktionsbezogene Berechnungsverfahren und Phänomene.	346
5.1	Produktunabhängige, konstruktionsbezogen 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, Schrifttumsübersicht	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	Beulen 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 Sprödbbruchverhaltens	424
5.6.3	Der K_{Ic} -Wert als Werkstoffkenngröße	425
5.6.4	Verhältnisse an der Reißspitze; Zusammenhang zwischen den Reißabmessungen und Nennspannung σ_a	426
5.6.5	Reißöffnungsverschiebungs-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 Sprödbbruch, Zähbruch oder unterkritisches Reißwachstum	431
5.6.6.2	Bruchmechanische Bewertung der Wasserdruckprobe	434
5.6.7	J -Integral und J_{Ic} -Wert	434
	Literatur zu Kapitel 5	435
6	Bauteilabhängige Berechnung 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 schwellender 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 Kreiszylinderschale 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 B 5 (Näherungsverfahren)	477
6.3.1.5.2	Berücksichtigung überelastischer Verformungen	480
6.3.1.5.3	Grenzen der Kirchhoffschen 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 Auschnitten	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 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 Bauelemente	531
6.7.1	Allgemeines	531
6.7.2	Funktion, Werkstoffe und Anwendungsbereich der Packungstopfbuchsen	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	566
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	Festigkeits- 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 Steigerung der Verfügbarkeit	756
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	760
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	Prüfinstanzen	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	Dichtheitsprüfungen	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