

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Werkstoffe	1
1.2	Schweißverfahren	1
1.3	Behälterberechnung	1
1.4	Konstruktion	2
 A Grundlagen		
2	Konstruieren als Aufgabe	3
2.1	Form	4
2.2	Werkstoff	4
2.3	Bearbeitung	4
2.4	Entwurfsarbeit	5
2.5	Bestlösung	5
2.6	Konstruktionen im Apparatebau	7
3	Vorschriften und Regeln der Technik	8
3.1	Druckbehälter - Verordnung	8
3.1.1	Begriffe	8
3.1.2	Prüfgruppen	9
3.1.3	Prüfung vor Inbetriebnahme	9
3.1.4	Wiederkehrende Prüfungen	10
3.1.5	Betrieb	10
3.1.6	Unfall- und Schadensanzeige	10
3.2	Technische Regeln Druckbehälter (TRB)	10
3.3	AD - Regelwerk (AD)	10
3.4	Dampfkessel - Bestimmungen (TRD)	11
3.5	Weitere technische Regeln	12
3.6	Unfallverhütungs-Vorschriften (UVV)	13
3.7	Allgemein	14
3.8	Güteüberwachung der Werkstoffe	15
4	Werkstoffe	17
4.1	Allgemeines über Werkstoffe	17
4.1.1	Lieferformen	20
4.1.2	Eigenschaften der Werkstoffe	20

4.2	Guß und Stahlwerkstoffe	24
4.2.1	Gußeisen-Werkstoffe	24
4.2.1.1	Gußeisen mit Lamellengraphit	25
4.2.1.2	Gußeisen mit Kugelgraphit	25
4.2.1.3	Austenitisches Gußeisen mit Lamellengraphit	26
4.2.2	Stahlguß	26
4.2.2.1	Nichtrostender Stahlguß	27
4.2.2.2	Hitzebeständiger und warmfester Stahlguß	28
4.2.3	Baustähle	29
4.2.3.1	Allgemeine Baustähle	29
4.2.3.2	Feinkornbaustähle	29
4.2.4	Stähle für besondere chemische Beanspruchung	30
4.2.4.1	Ferritische Stähle	31
4.2.4.2	Austenitische Stähle	32
4.2.4.3	Martensitische Stähle	33
4.2.4.4	Austenitisch-ferritische Stähle	33
4.2.5	Stähle für besondere thermische Beanspruchung	34
4.2.5.1	Warmfeste Stähle	34
4.2.5.2	Hochwarmfeste Stähle	34
4.2.5.3	Hitzebeständige Stähle	35
4.2.5.4	Stähle für tiefe Temperaturen	38
4.2.6	Druckwasserstoff-beständige Stähle	39
4.2.7	Aushärtende nichtrostendene Stähle	40
4.2.8	Stähle für Reaktor-Technik	40
4.3	Kupfer und Kupfer-Legierungen	41
4.3.1	Bronzen	43
4.3.1.1	Zinnbronzen	43
4.3.1.2	Aluminiumbronzen	43
4.3.1.3	Siliziumbronzen	43
4.3.1.4	Berylliumbronzen	44
4.3.2	Messing	44
4.3.3	Kupfer - Nickel	45
4.3.4	Rotguß	46
4.3.5	Neusilber	46
4.4	Aluminium und Aluminium-Legierungen	47
4.5	Magnesium und Magnesium-Legierungen	48
4.6	Nickel u. Nickel-Legierungen	49
4.6.1	Nickellegierungen mit Kupfer	50
4.6.2	Ni-Legierungen mit Mo, Cr und Co	50
4.7	Zink	51
4.8	Zinn	52
4.9	Blei	52

4.10	Sondermetalle	53
4.10.1	Titan	53
4.10.2	Tantal	54
4.10.3	Zirkonium	55
4.10.4	Niob	56
4.10.5	Molybdän	56
4.11	Edelmetalle	58
4.11.1	Gold	58
4.11.2	Silber	58
4.11.3	Platin	58
4.12	Keramische Sonderwerkstoffe	59
4.12.1	Borcarbid	59
4.12.2	Siliciumnitrid	59
4.12.3	Siliciumcarbid	60
4.13	Graphit	60
4.13.1	Hartkohle	62
4.13.2	Elektrographitierte Kohle	62
4.14	Mischwerkstoffe	64
4.15	Glas	65
4.16	Porzellan	67
4.17	Steinzeug - Technische Keramik	68
4.18	Kunststoffe	68
4.18.1	Polyvinylchlorid (PVC)	75
4.18.2	Polymethacrylsäure - methylester (PMMA)	76
4.18.3	Polytetrafluorethylen (PTFE)	76
4.18.4	Polyethylen (PE)	76
4.18.5	Polystyrol (PS)	77
4.18.6	Polyvinylcarbazol (PVK)	77
4.18.7	Polyamid (PA)	77
4.18.8	Polypropylen (PP)	78
4.18.9	Polyoxymethylen (POM)	78
4.18.10	Polyurethan (PUR)	78
4.19	Plattierte Werkstoffe	79
4.19.1	Allgemeines über Plattieren	79
4.19.1.1	Verfahren zur Herstellung von plattiertem Blech	79
4.19.1.2	Art der Verbindung	80
4.19.1.3	Aufgabe	81
4.19.1.4	Schichtdicke	81
4.19.1.5	Aufbau	82
4.19.2	Plattierte Stahlbleche	82

5 Verbindung und Formgebung 83

5.1	Guß	83
5.1.1	Entwurf	83
5.1.2	Bearbeitung	84

	5.1.3	Verfahren	84
5.2		Schweißen	85
	5.2.1	Allgemeines über Schweißen	85
		5.2.1.1 Grundlagen	85
		5.2.1.2 Konstruktion	86
		5.2.1.3 Einflußgrößen	87
		5.2.1.4 Schweißnahtfehler	88
	5.2.2	Schweißverfahren	88
		5.2.2.1 Gasschmelzschweißen (G)	88
		5.2.2.2 Lichtbogen Schweißen	89
		5.2.2.3 Schutzgas-Schweißen	90
		5.2.2.4 Strahlschweißen	92
		5.2.2.5 Elektroschlacke-Schweißen	94
		5.2.2.6 Widerstandspreßschweißen	95
	5.2.3	Nahtformen	96
		5.2.3.1 Stumpfnähte	98
		5.2.3.2 Kehlnähte	102
	5.2.4	Einflüsse auf die Schweißnaht	103
	5.2.5	Das Schweißen der Werkstoffe	104
		5.2.5.1 Unlegierte und niedrig legierte Stähle	104
		5.2.5.2 Hochlegierte Stähle	106
		5.2.5.3 Gußeisen	108
		5.2.5.4 Stahlguß	109
		5.2.5.5 Schaeffler-Diagramm	109
		5.2.5.6 Kupfer und Cu-Legierungen	111
		5.2.5.7 Aluminium und Al-Legierungen	114
		5.2.5.8 Nickel- und Ni-Legierungen	115
		5.2.5.9 Sondermetalle	117
		5.2.5.10 Verschweißen ungleicher Stähle	119
		5.2.5.11 Kunststoffe	126
5.3		Thermisches Schneiden	127
	5.3.1	Brennschneiden	127
	5.3.2	Pulverbrennschneiden	128
	5.3.3	Plasmaschneiden	128
	5.3.4	Laserschneiden	128
5.4		Löten	129
	5.4.1	Lotarten	129
	5.4.2	Arbeitsablauf einer Lötung	131
	5.4.3	Flußmittel	132
	5.4.4	Erwärmung	132
	5.4.5	Arbeitstemperatur	132
	5.4.6	Spaltbreite	132
	5.4.7	Festigkeit der Lötnaht	133
	5.4.8	Berechnung	133
	5.4.9	Konstruktion von Lötverbindungen	133

5.5	Kleben	137
5.5.1	Klebstoffe	137
5.5.2	Klebfverfahren	138
5.5.3	Kleben von Metallen	138
5.5.4	Dimensionierung der Verklebung	139
5.6	Nieten	139
5.7	Kaltverformung	140
5.7.1	Verfestigung	140
5.7.2	Kritische Verformung	141
5.7.3	Tiefziehfähigkeit	143
5.7.4	Abhängigkeit der Verformung	144
5.7.5	Kaltverformung der Werkstoffe	144
5.7.5.1	Unlegierter Stahl	144
5.7.5.2	Legierter Stahl	145
5.7.5.3	Kupfer	146
5.7.5.4	Nickel	147
5.7.5.5	Aluminium	147
5.7.6	Kaltverformung von Blechen	148

6 Angriff auf den Werkstoff und Schutz des Werkstoffes 149

6.1	Verschleiß	149
6.1.1	Begriff	149
6.1.2	Verschleißarten	149
6.1.2.1	Gleitverschleiß	149
6.1.2.2	Wälzverschleiß	150
6.1.2.3	Rollverschleiß	150
6.1.2.4	Schwingungverschleiß	150
6.1.2.5	Abrasiver Verschleiß	150
6.1.2.6	Erosion	151
6.1.2.7	Kavitation	151
6.1.2.8	Tropfenschlag	152
6.2	Korrosion	152
6.2.1	Allgemeines über Korrosion	152
6.2.1.1	Begriff	153
6.2.1.2	Maßangabe der Korrosion	154
6.2.1.3	Elektrochemische Korrosion	154
6.2.1.4	Ursachen der Korrosion	155
6.2.1.5	Spannungspotential	155
6.2.2	Arten der Korrosion	158
6.2.2.1	Interkristalline Korrosion	158
6.2.2.2	Messerschnitt-Korrosion	159
6.2.2.3	Kontaktkorrosion	159
6.2.2.4	Spannungsrißkorrosion	160
6.2.2.5	Lochkorrosion	161
6.2.2.6	Schwingungsrißkorrosion	162

	6.2.2.7	Spaltkorrosion	163
	6.2.2.8	Selektive Korrosion	163
	6.2.2.9	Fremdrost	163
	6.2.2.10	Aufschlagkorrosion	164
	6.2.2.11	Zundern	164
	6.2.2.12	Angriff in Metallschmelzen	165
6.3		Schutz gegen einen chemischen Angriff	165
	6.3.1	Schutz vom Werkstoff ausgehend	165
	6.3.2	Schutz vom angreifenden Medium ausgehend	166
	6.3.3	Schutz durch Oberflächen-Behandlung	167
	6.3.3.1	Metallische Überzüge	167
	6.3.3.2	Nichtmetallische Überzüge	174
	6.3.4	Kathodischer Schutz	181
	6.3.4.1	Schutz durch Anoden	182
	6.3.4.1	Fremdstromverfahren	183
	6.3.5	Schutz durch zweckmäßige Form	183

B Bauelemente

7 Böden und Mäntel 185

7.1	Böden	185
	7.1.1 Herstellung von Böden	185
	7.1.2 Technische Regelwerke	188
	7.1.3 Kantenbearbeitung	189
	7.1.4 Klöpferböden	192
	7.1.5 Korbbogenböden	194
	7.1.6 Halbkugelböden	196
	7.1.7 Normal- und flachgewölbte Böden	196
	7.1.8 Flache Böden	198
	7.1.9 Tellerböden	198
	7.1.10 Gewölbte Scheiben	200
	7.1.11 Kegelböden (Konen)	200
	7.1.12 Diffuseurböden	202
	7.1.13 Böden mit einer oder mehreren Halsungen	202
	7.1.14 Berechnungsbeispiel	204
7.2	Mäntel	212
	7.2.1 Zylindrische Mäntel mit innerem Überdruck	212
	7.2.2 Zylindrische Mäntel unter äußerem Überdruck	215
	7.2.3 Kegelförmige Mäntel	216

8	Eckverbindungen	220
9	Tragelemente	222
9.1	Füße	222
9.2	Standzargen	222
9.3	Pratzen	224
9.4	Tragsättel	224
9.5	Hebeösen, Traglaschen	230
9.6	Tragzapfen	230
9.7	Tragringe	230
9.8	Aufstellen eines Behälters	234
10	Flanschverbindungen	236
10.1	Blockflansche	252
10.2	Prüfen von Schweißverbindungen an Flanschen auf Dichtheit	252
11	Stützen	254
12	Dichtungen	260
12.1	Stopfbuchsichtungen	262
12.2	Gleitringdichtungen	266
12.3	Sicherheitsdichtung aufblasbar (U-Boot-Dichtung)	274
12.4	Dichtschweißungen	274
12.5	Axialwellendichtringe	276
12.6	Radialwellendichtring	276
12.7	Runddichtungen (O-Ringe)	281
12.8	Flachdichtungen	281
13	Schrauben	282
13.1	Sechskantschrauben	282
13.2	Dehnschrauben	282
13.3	Klammerschrauben	284
13.3.1	Wulst-Klammerschrauben	284
13.3.2	Segment-Klammerschrauben	284

14	Schaugläser	288
14.1	Lange Schaugläser	288
14.2	Runde Schaugläser	290
15	Verschlüsse	302
15.1	Mannlöcher	304
15.2	Hebel-Verschlüsse für Druckbetrieb und drucklosen Betrieb	305
15.3	Domeinstiege für drucklosen Betrieb	305
15.4	Klapp-Verschlüsse für Druckbetrieb	305
16	Elemente zum Heizen, Kühlen, Verdampfen und Kondensieren	308
16.1	Doppelmantel	308
16.2	Doppelmantel-Warzen	308
16.3	Heizschlangen	311
16.4	Halbrohre	311
17	Armaturen	316
17.1	Ventile	316
17.1.1	Faltenbalgventile	336
17.1.2	Auslaufventil mit Schwimmerantrieb	343
17.2	Hähne	348
17.3	Drehklappen	348
17.4	Schieber	348
18	Rohrleitungen	350
18.1	Kompensatoren für Rohrleitungen	352
18.2	Rohraufhängungen	357
18.2.1	Senkrechte Trassen	357
18.2.2	Waagrechte Trassen	357
19	Bühnen, Treppen, Leitern	358

20	Kolonnen	364
20.1	Rohrkolonnen	364
20.2	Schußkolonnen	367
20.3	Bodenkolonnen	367
20.3.1	Glockenböden	367
20.3.1.1	Einteilung der Glockenkonstruktionen	372
20.3.1.2	Glockenkonstruktionen	373
20.3.2	Ventilböden	384
20.3.3	Siebböden	384
20.4	Bodenrandabdichtungen	386
20.4.1	Unlösbare Randabdichtungen	387
20.4.2	Lösbare Randabdichtungen	389
20.4.2.1	Weichstoff-Abdichtung	389
20.4.2.2	Metallische-Abdichtung	391
20.4.2.3	Flüssigkeitsabschluß	395
20.5	Kolonnen mit Packungen	396
20.6	Kolonnen mit Füllkörpern	400
20.7	Auflageböden	404
20.8	Flüssigkeitsverteiler	406
20.9	Tropfenabscheider aus Drahtgestrick (Demister)	410
21	Wärmeaustauscher mit und ohne Aggregatzustandsänderung	418
21.1	Geradrohr-WAT	420
21.2	Platten-WAT	426
21.3	Doppelrohr-WAT (auch Doppelmantel-WAT)	430
21.4	Rohrschlangen-WAT	432
21.5	Haarnadel-WAT	434
21.6	Kreuzstrom-WAT (auch Kreuz-Gegenstrom-WAT)	438
21.7	Schwimmkopf-WAT	442
21.7.1	Schwimmkopf-WAT mit Stopfbuchse am Schwimmkopf	446
21.7.2	Schwimmkopf-WAT mit einer Stopfbuchse im Mantel	446
21.8	Rippenrohr-WAT	448
21.8.1	Allgemeines über Rippenrohre	448
21.8.2	Längsberippter Rippenrohr-WAT	450
21.8.3	Innenberippter Rippenrohr-WAT	451
21.8.4	Querberippter Rippenrohr-WAT	451
21.8.5	Gußrippenrohr-WAT	452
21.8.6	Blechrippenrohr-WAT	452
21.8.7	Schraubenrippenrohr-WAT	452
21.9	Sonderkonstruktionen	453
21.9.1	Linsen-WAT	453

21.9.2	Verdrängungsrohr-WAT	454
21.9.3	Glasrohr-WAT	456
21.9.4	Graphit-WAT	458
21.9.5	Block-WAT aus Graphit	460
21.9.6	Ringnut-WAT	466
21.9.7	Tauch-WAT	468
21.9.8	Teflon-WAT	469
21.9.9	Lamellen-WAT	470
21.9.10	Hohlschnecken-WAT	472
21.9.11	WAT mit Kompensator	474
21.9.12	Spiral-WAT	478
21.10	Verdampfer	480
21.10.1	Rührwerks-Verdampfer	482
21.10.2	Schrägrohr-Verdampfer	484
21.10.3	Senkrechtrohr-Verdampfer (mit Zwangs- umlauf)	486
21.10.4	Kestner-Verdampfer /Kletterverdampfer	486
21.10.5	Horizontalrohr-Verdampfer	488
21.10.6	Robert-Verdampfer	488
21.10.7	Herbert-Verdampfer	492
21.10.8	Tauchrohr-Verdampfer	492
21.10.9	Senkrechtrohr-Verdampfer (mit natürlichem Umlauf)	494
21.10.10	Mehrkommer-Verdampfer	494
21.10.11	Spiral-Verdampfer	496
21.10.12	Platten-Verdampfer	496
21.10.13	Lamellen-Verdampfer	498
21.10.14	Entspannungs-Verdampfer	498
21.10.15	Verdampfer mit mechanischer Brüdenkom- pression	498
21.10.16	Verdampfer mit Dampfstrahlbrüdenkom- pression	500
21.10.17	Kletterfilm-Verdampfer	500
21.10.18	Gleichstrom-Fallfilm-Verdampfer	502
21.10.19	Gegenstrom-Riesel-Verdampfer	504
21.10.20	Wendelrohr-Verdampfer	504
21.10.21	Dünnschicht-Verdampfer (System Sambay)	506
21.10.22	Smith-Verdampfer	508
21.10.23	Horizontaler Sako-Verdampfer	508
21.10.24	Vertikaler Sako-Verdampfer	510
21.10.25	Luwa-Verdampfer	510
21.10.26	Hochviskosmaschine	512
21.10.27	Centri-Therm-Verdampfer	514
21.11	Verbindung Rohr - Rohrboden	516
21.12	Verbindung Rohrboden - Flansch - Dichtung	527
21.13	Trenn- und Umlenkbleche	536
21.14	Prallbleche	542

21.15	Gleitelemente	543
21.16	Normenverzeichnis-WAT	545

22 Trockner 546

22.1	Trocknungsarten	547
22.2	Einteilung der kontinuierlichen Trockner	548
22.3	Trocknerarten	550
22.3.1	Vibrations-Trockner	550
22.3.2	Röhren-Trockner	550
22.3.3	Heiz-Teller-Trockner	552
22.3.4	Taucheinwalzen-Trockner	552
22.3.5	Glättwalzen-Trockner	554
22.3.6	Feinschichtwalzen-Trockner	554
22.3.7	Sprühzweiwalzen-Trockner	556
22.3.8	Sumpfwalzen-Trockner	556
22.3.9	Rillenwalzen-Trockner	558
22.3.10	Doppelwalzen-Trockner	558
22.3.11	Drehrohr-Trockner	560
22.3.12	Drehtrommel-Trockner	560
22.3.13	Mulden-Trockner	562
22.3.14	Schnecken-Trockner (System Holoflite)	562
22.3.15	Schnecken-Trockner	564
22.3.16	Dünnschicht-Trockner	564
22.3.17	Vakuum-Band-Trockner	566
22.3.18	Vakuum-Teller-Trockner	568
22.3.19	Zweiwalzen-Trockner	568
22.3.20	Walzen-Band-Trockner	570
22.3.21	Schaufel-Trockner	570
22.3.22	Rieselschacht-Trockner	572
22.3.23	Gefrier-Trockner	572
22.3.24	Einwalzen-Trockner	576
22.3.25	Durchlaufschacht-Trockner	576
22.3.26	Gleichstrom-Trommel-Trockner	578
22.3.27	Flug-Band-Trockner	578
22.3.28	Strom-Trockner	580
22.3.29	Parry-Trockner	580
22.3.30	Gegenstrom-Trommel-Trockner	582
22.3.31	Düsenrohr-Trockner	582
22.3.32	Spiralstrom-Trockner	584
22.3.33	Ringstrom-Trockner	584
22.3.34	Segment-Teller-Trockner	586
22.3.35	Umluft-Teller-Trockner	586
22.3.36	Teller-Wirbelschicht-Trockner	588
22.3.37	Horizontal-Wirbelschicht-Trockner	588
22.3.38	Kaskaden-Trockner	590
22.3.39	Hordenschacht-Trockner	590

22.3.40	Zerstäubungs-Trockner	592
22.3.41	Schwebe-Trockner	592
22.3.42	Schleuder-Trockner	594
22.3.43	Mehrkammer-Trockner	594
22.3.44	Ein-Band-Trockner	596
22.3.45	Wirbelschicht-Vibrations-Trockner	596
22.3.46	Spiral-Band-Trockner	598

23 Rührbehälter (Rührwerke) 600

23.1	Antriebsarten	602
23.1.1	Vertikal-Rührwerke	602
23.1.2	Horizontal-Rührwerke	605
23.2	Rührerarten	606
23.3	Strömungsverlauf bei verschiedenen Rührerarten	613
23.4	Aufstellungsarten von Rührbehältern	614
23.5	Stromstörer	615
23.6	Sonderkonstruktionen	620
23.7	Konstruktionsbeispiele	622
23.8	Antriebe von Rührern	635
23.9	Rührbehälter nach DIN	636

24 Plattierte, ausgekleidete und emaillierte Konstruktionselemente 640

24.1	Plattieren	640
24.2	Auskleiden	643
24.3	Emaillieren	646

Literatur 655

Sachverzeichnis 670