

Inhaltsverzeichnis

1.	Geschichtliches zum Wasserdampf	1
2.	Grundlagen für Wasser und Wasserdampf	9
2.1	Natürliche Vorkommen	10
2.2	Wärmeträger Wasser und Wasserdampf	10
2.3	Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf	11
2.4	Wärmeträgervergleich und Einsatzgebiete	12
2.4.1	Vergleich von Warm- und Heißwasser mit Wasserdampf	13
2.4.2	Einsatzgebiete für Warm- und Heißwasser	13
2.4.3	Einsatzgebiete für Wasserdampf	14
3.	Dampferzeugung	17
3.1	Zustandsgrößen für Wasser und Wasserdampf	18
3.2	Wasserdampfzustände	19
3.3	Entspannungsdampf	20
3.4	Wärmetausch	25
4.	Dampferzeugungssysteme	29
4.1	Systemkomponenten	30
4.2	Offene Systeme	32
4.3	Geschlossene Systeme	34
4.3.1	Kondensatentspanner	34
4.3.2	Geschlossener Hochdruck-Kondensatbehälter	36
4.3.3	Einsparungen und Vorteile durch geschlossene Kondensatsysteme	37
4.4	Kombinierte Systeme	38
4.5	Kondensat-Rückleitung	38
4.6	Ablassentspannungsgefäß	39
5.	Dampfverbraucher	41
5.1	Angeschlossene Dampfverbraucher	42
5.1.1	Indirekt beheizte Dampfverbraucher	42
5.1.2	Direkt beheizte Dampfverbraucher	42
5.2	Systembedingte Dampfverbraucher	43
6.	Dampferzeuger	45
6.1	Historie	46
6.2	Bauarten der Gegenwart	51
6.2.1	Flammrohr – Rauchrohrkessel	53
6.2.2	Wasserrohrkessel	63
6.3	Funktionen und Eigenschaften der Bauarten	68

6.3.1	Flammrohr – Rauchrohrkessel	68
6.3.1.1	Naturumlauf	68
6.3.1.2	Dampfqualität	69
6.3.1.3	Lastanpassung und Druckkonstanz	69
6.3.1.4	Direkte Wasserstandsregelung und -begrenzung	70
6.3.1.5	Brennerschalthäufigkeit	70
6.3.1.6	Bedienung und Wartung	70
6.3.1.7	Erleichterte Aufstellung – wiederkehrende Prüfungen (z. B. in Deutschland)	70
6.3.2	Wasserrohrkessel	71
6.3.2.1	Naturumlauf	71
6.3.2.2	Dampfqualität	72
6.3.2.3	Lastanpassung und Druckkonstanz	72
6.3.2.4	Direkte Wasserstandsregelung und -begrenzung	72
6.3.2.5	Brennerschalthäufigkeit	73
6.3.2.6	Bedienung und Wartung	73
6.3.2.7	Erleichterte Aufstellung – wiederkehrende Prüfungen (z. B. in Deutschland)	73
6.3.3	Schneldampferzeuger	73
6.3.3.1	Zwangsdurchlauf	73
6.3.3.2	Dampfqualität	73
6.3.3.3	Schnelle Betriebsbereitschaft	74
6.3.3.4	Lastanpassung	74
6.3.3.5	Speisewassermengenregelung und -überwachung	74
6.3.3.6	Brennerschalthäufigkeit	75
6.3.3.7	Bedienung und Wartung	75
6.3.3.8	Erleichterte Aufstellung – wiederkehrende Prüfungen (z. B. in Deutschland)	76
6.3.4	Einsatzgebiete der Bauarten	76
6.4	Bauteile der Druckkörper	76
6.4.1	Bauteile der Druckkörper für Großwasserraumkessel	76
6.4.1.1	Kesselmäntel	77
6.4.1.2	Kesselböden	77
6.4.1.3	Flammrohre	78
6.4.1.4	Hintere wassergekühlte Wendekammern	79
6.4.1.5	Vordere Wendekammern	80
6.4.1.6	Rauchrohre	82
6.4.1.7	Diverse Ein- und Anbauteile	82
6.4.1.8	Herstellung und Zusammenbau	83
6.4.2	Bauteile der Druckkörper für Wasserrohrkessel (Naturumlaufsystem)	91
6.4.2.1	Herstellung und Zusammenbau der Druckkörper für Wasserrohrkessel	92
6.4.3	Bauteile der Druckkörper für Schneldampferzeuger (Zwangsdurchlaufsystem)	92

6.4.3.1	Herstellung und Zusammenbau der Druckkörper für Schnelldampferzeuger	93
6.4.4	Hitzebeständige Auskleidungen an Druckkörpern	94
6.4.5	Isolierung der Druckkörper	95
6.5	Ausrüstung der Dampferzeuger	97
6.5.1	Entwicklung der Ausrüstung	97
6.5.2	Einrichtungen für den Wasserstand	99
6.5.2.1	Niedrigwasserstandsbegrenzung	99
6.5.2.2	Niveauregelung und Höchstwasserstandsabsicherung	100
6.5.2.3	Diskontinuierliche Niveauregelung	101
6.5.2.4	Kontinuierliche Niveauregelung	102
6.5.2.5	Wasserstandsanzeige	103
6.5.2.6	Speiseeinrichtung	104
6.5.3	Einrichtungen für den Druck (Leistung)	109
6.5.4	Einrichtungen zur Absperrung aller Anschlussrohrleitungen	113
6.5.5	Einrichtungen zur Verbesserung der Kesselwasser- und Dampfqualität	114
7.	Brennstoffe, Feuerungen und Brenner	119
7.1	Brennstoffe	120
7.1.1	Heizöl EL und Erdgas	121
7.1.1.1	Verfügbarkeit und Preise	121
7.1.1.2	Lagerung und Vorhaltung	122
7.1.1.3	Kosten für Feuerung und Hilfsenergie	122
7.1.1.4	Abgasverluste und Heizflächenreinigung	122
7.1.1.5	Sorten und Beschaffenheit	123
7.1.1.6	Heizwert und Brennwert	123
7.1.1.7	Einfluss der Verbrennung von Heizöl EL mit leuchtender bzw. Erdgas mit nicht leuchtender Flamme	125
7.1.1.8	Einflussgrößen für die Bildung der Stickstoffoxide NO	125
7.2	Brennersysteme und Bauarten	126
7.2.1	Ölbrenner	127
7.2.1.1	Druckzerstäuber	127
7.2.1.2	Drehzerstäuber	131
7.2.2	Gasbrenner	133
7.2.3	Zweistoffbrenner	135
7.2.4	Leistungsregelung der Brenner	136
7.2.4.1	Gestufte Brennerregelungen	136
7.2.4.2	Modulierende Brennerregelungen	137
7.3	Optimierte Brennersysteme	138
7.3.1	Schadstoffarme Brennersysteme	139
7.3.1.1	Multiflamm-Brenner	140
7.3.1.2	Freiflamm-Brenner	142
7.3.1.3	Theminox-Brenner mit Reaktionskammer	143

7.3.2	Einrichtungen zur Wirkungsgradoptimierung der Brennersysteme	144
7.3.2.1	Drehzahlregelung des Brennergebläses	144
7.3.2.2	O ₂ -Regelung	145
7.3.2.3	CÖ-Regelung	147
8.	Wasserbeschaffenheit und -behandlung	149
8.1	Wässer bei der Dampferzeugung	150
8.1.1	Rohwasser	150
8.1.2	Zusatzwasser	150
8.1.3	Kondensat	151
8.1.4	Speisewasser	151
8.1.5	Kesselwasser	151
8.1.6	Abwasser	151
8.2	Anforderungen an die Beschaffenheit von Kesselspeisewasser und Kesselwasser	151
8.2.1	Beläge und Ablagerungen	152
8.2.2	Korrosionen	153
8.2.3	Dampfqualität	154
8.2.4	Betriebsstörungen	154
8.2.5	Beschaffenheitsanforderungen	154
8.3	Angaben für die Auswahl der Wasseraufbereitung	155
8.3.1	Rohwasserqualität	155
8.3.2	Kesselleistung	156
8.3.3	Kondensatmenge und -beschaffenheit	156
8.3.4	Verwendung des Dampfes	156
8.3.5	Dampfdruck und Dampftemperatur	156
8.4	Wasseraufbereitungsverfahren	156
8.4.1	Enthärtung	157
8.4.2	Entkarbonisierung und Enthärtung	160
8.4.3	Umkehrosmose	160
8.4.4	Thermische Entgasung	162
8.4.4.1	Teilentgasung	163
8.4.4.2	Vollentgasung	164
8.4.5	Chemische Wasserkonditionierung	166
8.4.6	Überwachung der Wasserqualität	167
8.4.6.1	Herkömmliche Messverfahren	168
8.4.6.2	Wasseranalysegeräte	169
9.	Wärmebilanz der Kesselanlage	173
9.1	Wärmeverluste	174
9.1.1	Abgasverluste	174
9.1.2	Verluste durch Leitung und Strahlung	175
9.1.3	Absalz- und Abschlammverluste	176
9.1.4	Abdampfverluste	176

9.2	Wärmerückgewinnung	177
9.2.1	Economiser und Abgaswärmetauscher	177
9.2.2	Laugenentspanner und Laugenkühler	184
9.2.3	Brüdenkühler	184
9.2.4	Geschlossene Kondensatsysteme	185
9.3	Wirkungsgrade	185
10.	Einzel- und Mehrkesselanlage	189
10.1	Bedarfsgerechte Leistungsparameter	190
10.2	Einzelkesselanlage	190
10.3	Mehrkesselanlage	190
10.3.1	Folgeschaltungen	191
10.3.2	Warmhalteschaltungen	194
10.3.3	Trocken- und Nasskonservierung	196
10.4	Komponenten für Einzel- und Mehrkesselanlagen	196
10.5	Regel- und Steuertechnik für Einzel- und Mehrkesselanlagen	199
10.5.1	Datenverarbeitungsgeräte (Hardware)	200
10.5.2	Datenverarbeitungsprogramme (Software)	200
10.5.2.1	Visualisierung	200
10.5.2.2	Archivierung	201
10.5.2.3	Schutzfunktionen	202
10.5.2.4	Betriebs- und Störmeldemanagement mit integriertem Vorwarnsystem	202
10.5.3	Systemsteuerung für Dampfkessel	203
10.5.4	Systemsteuerung für Dampfkesselanlagen	204
11.	Vorschriften und Verordnungen für überwachungsbedürftige Dampfkesselanlagen	207
11.1	Entstehung und Herkunft	208
11.2	Nationale Vorschriften behindern den Warenverkehr	208
11.3	Die „Druckgeräterichtlinie“ der Europäischen Union	209
11.4	Gefahrenpotential als Grundlage zur Einstufung in Risikokategorien	210
11.5	Harmonisierte europäische Normen	210
11.6	Nationale Beschaffenheitsanforderungen sind nicht zulässig	211
11.7	EU-Normen als größter gemeinsamer Nenner	212
12.	Literatur	213
13.	Quellenangaben der Bilder und Tabellen	216
14.	Stichwortverzeichnis	217
	Inserentenverzeichnis	231