

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Planung von Anlagen</b> .....	13
1.1 Grundkonzeption .....	14
1.2 Sicherheits- und umwelttechnische Anforderungen .....	17
1.2.1 Gesetze, Verordnungen, Normen, Vorschriften .....	17
1.2.2 Sicherheitstechnik .....	17
1.2.3 Sicherheitseinrichtungen .....	19
1.2.4 Prozessleittechnik (PLT) sichert Anlagen .....	20
1.2.4.1 Klassifizierung von PLT-Einrichtungen .....	21
1.2.4.2 Klassifizierungsbeispiele .....	22
1.2.4.3 Anwendungsbeispiel Absicherung von Rührkesseln .....	23
1.2.5 Emissionen und Emissionsminderung .....	23
1.2.6 Abfall oder Reststoff? .....	25
1.2.7 Umgang mit wassergefährdenden Stoffen .....	25
1.2.8 Explosionsgefahr und brennbare Flüssigkeiten .....	29
1.2.9 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) .....	29
1.2.9.1 Umweltdokumentation .....	30
1.2.9.2 Umweltrisikoaanalyse .....	31
1.2.9.3 Geprüfte technische Verfahrensalternativen .....	32
1.2.10 Druckgeräte .....	33
1.2.11 CE-Kennzeichnung .....	34
1.3 Zusammenfassung der wichtigsten Planungsschritte .....	35
1.4 Vor- und Grobplanung .....	35
1.4.1 Festlegung der Aufgabenstellung .....	35
1.4.2 Datenerfassung .....	35
1.4.3 Verfahrensbeschreibung mit Mengen- und Energiebilanzen .....	37
1.4.4 Verfahrenstechnische Grobauslegung .....	39
1.4.5 Auslegung der Nebenanlagen .....	39
1.4.6 Lageplanentwurf .....	39
1.4.7 Projektbeschreibung, Kostenschätzung, Terminplan .....	40
1.4.8 Projektierungshilfen .....	42
1.4.9 Betriebskostenschätzung .....	42
1.5 Detailplanung .....	42
1.5.1 Allgemeine Hinweise .....	42
1.5.2 Genehmigungsantrag .....	43
1.5.3 Erstellung von Spezifikationen .....	43
1.6 Anfragen und Bestellungen .....	44
1.6.1 Anfragen .....	44
1.6.1.1 Angebote .....	44
1.6.1.2 Unterlieferanten .....	44
1.6.1.3 Liefergrenzen und Leistungsgrenzen des Lieferanten .....	44
1.6.1.4 Angebotsvergleich .....	44
1.6.2 Bestellungen .....	46
1.6.2.1 Lieferungen und Leistungen des Bestellers .....	47
1.7 Abwicklung .....	47
1.7.1 Auftragsverfolgung .....	47
1.7.2 Ergänzende Detailplanung .....	47
1.7.3 Dokumentation .....	47
1.7.3.1 Abwicklungsdokumentation .....	48
1.7.3.2 Technische Dokumentation .....	49
1.8 CAE in der Anlagentechnik .....	50
1.8.1 Angebotsphase .....	53

## 8 Inhaltsverzeichnis

1.8.2	Auftragsphase: Basic-/Detail-Engineering, Rohrleitungs- und Instrumentierungsdiagramm	53
1.8.3	Dreidimensionale Aufstellungsplanung	53
1.9	Prüflisten für Haupttätigkeiten	55
1.9.1	Darstellung des Anlagenschemas	55
1.9.2	Verfahrensablauf	56
1.9.3	Auslegung von einzelnen Anlagenteilen	57
1.9.4	Rohrleitungsanlagen	59
1.9.5	Mess- und Regelungseinrichtungen	59
1.9.6	Sicherheit und Umwelt	60
1.9.7	Aufstellungsplan	62
1.9.8	Montagevorbereitung	62
1.10	Planungsfehler	62
2	<b>Kaufmännische Planung</b>	65
2.1	Kostenermittlung	65
2.1.1	Kapitalgebundene Kosten	65
2.1.2	Verbrauchsgebundene Kosten	66
2.1.3	Betriebsgebundene Kosten	66
2.1.4	Sonstige Kosten	66
2.1.5	Montagekosten	66
2.1.6	Preise von Anlagenbauteilen	68
2.1.6.1	Preisdegression	69
2.2	Wirtschaftlichkeit	69
2.2.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung	70
2.2.1.1	Kapitalrückflussdauer	70
2.2.1.2	Annuitätsmethode	70
2.2.1.3	Amortisationsdauer	70
2.2.1.4	Barwertmethode (Kapitalwertmethode)	71
2.2.1.5	Dynamische Berechnung	72
2.3	Wärme- und Energiekosten	72
2.3.1	Kapitalkosten	73
2.3.2	Energiekosten	73
2.3.3	Betriebskosten	74
2.3.4	Sonstige Kosten	74
2.3.5	Gesamtkosten	74
2.4	Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätsmethode	74
2.4.1	Annuität der kapitalgebundenen Kosten (Auszahlungen)	75
2.4.2	Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	75
2.4.3	Annuität der betriebsgebundenen Kosten	76
2.4.4	Annuität der sonstigen Kosten	76
2.4.5	Jahreseinnahmen (Erlöse, Einzahlungen)	76
2.4.6	Annuität der jährlichen Gesamtzahlungen	76
2.4.7	Armortisationsdauer $T_A$	76
2.5	Life-cycle-Kosten	79
2.6	Verträge	79
2.6.1	Vertragsarten	79
2.6.2	Vertragsformen	80
2.6.3	Zusammenarbeitsverträge	81
2.6.4	Einflüsse der Vertragsform	82
2.6.5	Vertragsgestaltung	83
2.7	Vertragsbedingungen	84
2.7.1	Zahlungsbedingungen	84
2.7.2	Liefertermin	85
2.7.3	Probetrieb, Risikoübergang, Betriebsübernahme	86
2.7.4	Zugesicherte Eigenschaften	87
2.7.5	Gewährleistung	87
2.7.6	Nachweis der zugesicherten Auslegungsdaten	88

2.7.7	Rechte des Bestellers bei Mängeln an der Lieferung	88
2.7.8	Sonstiges	90
2.7.8.1	Streitfälle	90
<b>3</b>	<b>Bauliche Planung</b>	<b>93</b>
3.1	Allgemeines	93
3.2	Transport- und Lagerverhältnisse	93
3.3	Baustelleneinrichtung	94
3.4	Montage	94
3.5	Personal	94
3.6	Haftung und Verantwortung des Lieferanten	95
3.7	Bau- und/oder Montageüberwachung	95
3.8	Betriebsdokumentation	96
3.8.1	Spezielle Betriebsdokumentation	96
3.8.1.1	Betriebsprogramm	96
3.8.1.2	Betriebsabläufe	97
3.8.1.3	Betrieb einzelner Gebiete und Teilgebiete	97
3.8.1.4	Wirtschaftlicher Betrieb	97
3.8.1.5	Steuerungs- bzw. Regelungs- sowie Sicherheitssysteme und Sicherheitseinrichtungen	97
3.8.1.6	Betriebsbericht	97
3.8.1.7	Regelmäßige Inspektionen	97
3.8.1.8	Betriebsstörungen	97
3.8.2	Dokumentation von Wartung, Reparatur und Kundendienst	97
3.8.2.1	Produktwartung	98
3.8.2.2	Kundendienstbericht	98
3.8.2.3	Wartungs- und Reparaturberichte	98
3.8.2.4	Sicherheit	98
3.8.3	Einsatz von Einrichtungen	98
3.8.3.1	Anleitungen für den Betreiber	98
3.8.3.2	Inhalt der Anleitungen für den Betreiber	98
3.8.3.3	Sicherheit	99
3.9	Inbetriebnahme	99
3.9.1	Inbetriebnahmeablauf am Beispiel einer Wärmeträger-Ölanlage	99
3.9.1.1	Abnahmeprüfung	99
3.9.1.2	Reinigung	99
3.9.1.3	Dichtheitsprüfung	100
3.9.1.4	Füllen der Anlage mit Wärmeträger und Druckprüfung	100
3.9.1.5	Funktionsprüfung	101
3.9.1.6	Inbetriebnahme	101
3.9.1.7	Messprotokoll	102
3.10	Abnahme	102
3.11	Aufmaß	102
<b>4</b>	<b>Betrieb der Anlage</b>	<b>103</b>
4.1	Wartung und Instandhaltung	103
4.1.1	Instandhaltungskonzept	103
4.1.2	Instandsetzung nach Ausfall	103
4.1.3	Vorbeugende Instandhaltung	104
4.1.4	Zustandsbezogene Instandhaltung	104
<b>5</b>	<b>Beispielhafter Ablauf eines Anlagenprojektes in Diagrammen</b>	<b>107</b>
5.1	Zeitliche Planung	107
5.2	Typischer Planungsablauf	108
5.3	Aufgaben und Zielstellungen der Inbetriebnahme	109
5.4	Typischer Inbetriebnahmeablauf	109
5.5	Betrieb der Anlage	110
5.6	Pumpenüberwachung	110

5.7	Standardablauf einer Wartung	111
5.8	Standardablauf einer Inspektion	112
5.9	Standardablauf einer Instandsetzung	113
<b>6</b>	<b>Projektionsgleichungen und Faustformeln</b>	<b>115</b>
6.1	Allgemeines	115
6.2	Projektionsgleichungen	115
6.3	Faustformeln	115
6.3.1	Volumenstrombestimmung	115
6.3.1.1	Heißwasser	115
6.3.1.2	Thermoöle bei der oberen Anwendungstemperatur	115
6.3.1.3	Luft (im Normzustand)	115
6.3.2	Rohrleitungssinnendurchmesser	123
6.3.3	Leistungsbedarf von Pumpen	123
6.3.4	Leistungsbedarf von Ventilatoren	124
6.3.5	Elektrische Stromstärke $I$ für die Zuleitung zum Motor im Drehstromnetz	124
6.3.6	Messblendenbohrung	124
6.3.6.1	Wasser	125
6.3.6.2	Thermoöl	125
6.3.6.3	Wasserdampf (Sattdampf)	125
6.3.7	Verbrennungstechnik	125
6.3.7.1	Brennstoffstrom $B$ und Abgasstrom $V_A$	125
6.3.7.2	Flüssige und gasförmige Brennstoffe	126
6.3.7.3	Holzverbrennung	126
<b>7</b>	<b>Datensammlung und Planungsmaterial</b>	<b>127</b>
7.1	Auslegungen	127
7.1.1	Strömungsgeschwindigkeiten aus der Praxis	127
7.1.2	Hauptdaten von Rohrleitungen und Rohrleitungselementen	128
7.1.3	Rohranschlussabmessungen, die sich aus den Flanschnormen ergeben	130
7.1.4	Kenngrößen für die Druckverlustberechnung	131
7.1.5	Verlustrhöhenbestimmung bei Wasserleitungen	132
7.1.6	Nomogramm zur Berechnung des Strömungswiderstandes von Rohrleitungen	133
7.1.7	Geschwindigkeit und Druckverlust in durchströmten Rohren	134
7.1.8	Verlustrhöhe	135
7.1.9	Erforderliche Dehnschenkellängen bei warmgehenden Stahlrohrleitungen	136
7.1.10	Verhältnis der gestreckten Länge zur Verbindungslänge als Kriterium für das elastische Verhalten eines Stahlrohrsystems	137
7.1.11	Dehnungsaufnahme von Rohrschenkeln	138
7.1.12	Dehnschenkel bei Kunststoffrohren	139
7.1.13	Leistungsbestimmung bei Pumpen	140
7.1.14	Wirkungsgrad und Leistungsbedarf von 1-stufigen Kreiselpumpen im Optimum	141
7.1.15	Leistungsbestimmung bei Ventilatoren	142
7.1.16	Diagramm zur Bestimmung der Wanddicke von zylindrischen Mänteln	143
7.1.17	Diagramm zur Bestimmung gewölbter Böden	144
7.1.18	Diagramm zur Bestimmung von ebenen Böden	145
7.1.19	Streckgrenze und Langzeit-Warmfestigkeitswerte von nahtlosen Rohren aus warmfesten Stählen	146
7.1.20	Stoffwerte von Stählen	147
7.1.21	Drehmoment in Abhängigkeit von Antriebsleistung und Drehzahl	148
7.1.22	Wellendurchmesser in Abhängigkeit vom Drehmoment	148
7.1.23	Abblasleistungen von Vollhub-Sicherheitsventilen und Normal-Sicherheitsventilen für Wasser	149
7.1.24	Abblaseleistungen von Vollhub-Sicherheitsventilen und Normal-Sicherheitsventilen für Sattdampf und Luft	150
7.1.25	Strömungsgeschwindigkeit in Dampfleitungen	151
7.1.26	Bemessung von Kondensatleitungen	152
7.1.27	Auslegung von Sattdampfleitungen	154

7.1.28	Nachverdampfung bei der Entspannung von Kondensat .....	155
7.1.29	Anhaltswerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten $k$ bei Wärmeaustauschern .....	156
7.1.30	Mittlere Temperaturdifferenz für reinen Gleich- und Gegenstrom .....	157
7.1.31	Richtwerte des Schalldruckpegels von Drehstrommotoren .....	158
7.1.32	A-Schall-Leistungspegel an Spiral- oder Ringgehäuserpumpen .....	158
7.1.33	Schall-Leistungspegel von Ventilatoren .....	158
7.2	Konstruktion .....	159
7.2.1	Bildzeichen für Wärmekraftanlagen .....	159
7.2.2	Transportabmessungen .....	160
7.2.3	Mindestabstände von Leitungen .....	162
7.2.4	Rohrbrücke .....	163
7.2.5	U-Rohr-Wärmeaustauscher .....	164
7.2.6	Hauptabmessungen sowie Heizflächen bei einem Rohrbündel-Wärmeübertrager .....	165
7.2.7	Bezeichnung von Wärmeaustauscher-Bauelementen nach TEMA .....	166
7.2.8	Druck-Temperatur-Zuordnungen für nichtaustenitische Stähle .....	167
7.2.9	Übersichtsdiagramm zur Bestimmung der Baugrößen von Radialventilatoren .....	168
7.2.10	Kennfelder von Kreiselpumpen .....	169
7.2.11	Liegende Behälter .....	170
7.2.12	Sättel für liegende Behälter .....	173
7.2.13	Apparat mit Profilfüßen .....	174
7.2.14	Rohrfüße für stehende Apparate .....	175
7.3	Datenblätter .....	176
7.3.1	Datenblatt für Kreiselpumpen .....	176
7.3.2	Datenblatt für Sicherheitsventile .....	177
7.3.3	Spezifikationsblatt für Stellgeräte .....	178
7.3.4	Datenblatt für Elektromotoren .....	180
7.3.5	Datenblatt für Wärmeaustauscher – allgemeine Daten .....	181
7.3.6	Datenblatt für Wärmeaustauscher – Prozessdaten und Stoffwerte .....	182
7.3.7	Datenblatt für Wärmeaustauscher – Stutzen und Maßskizze .....	183
7.4	Vorschriften .....	184
7.4.1	Geltungsbereich der gesetzlichen Regelwerke zur Luftreinhaltung bei Feuerungsanlagen .....	184
7.4.2	Übersicht für zulässige Emissionswerte gemäß TA Luft .....	185
7.4.3	Emissionsgrenzwerte bei Großfeuerungsanlagen .....	186
7.4.4	Druckgeräterichtlinie: Einteilung der Fluide .....	187
7.4.5	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 1: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	187
7.4.6	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 2: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	188
7.4.7	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 1, Flüssigkeiten: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	188
7.4.8	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 2, Flüssigkeiten: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	189
7.4.9	Beheizte überhitzungsgefährdete Druckgeräte (Druckgeräte RL) TS > 110 °C, Fluide: Dampf oder Heißwasser .....	189
7.4.10	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 1: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	190
7.4.11	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 2: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	190
7.4.12	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 1: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	191
7.4.13	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 2: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar(ü)}$ .....	191
7.4.14	Konformitätsbewertung .....	192
7.4.15	Inhalt der Konformitätsbewertungsverfahren .....	192
7.5	Stoffwerte .....	193
7.5.1	WasserdampfTafel: Sättigungszustand (DruckTafel) .....	193
7.5.2	Enthalpiediagramm von Wasserdampf ( $h$ - $p$ -Diagramm) .....	194
7.5.3	Übersichtsdiagramm: $T$ - $s$ -Diagramm von Wasserdampf mit Isobaren und Isochoren .....	195
7.5.4	Übersichtsdiagramm: $h$ - $s$ -Diagramm von Wasserdampf .....	196
7.5.5	Dichte von trockener Luft .....	197

## 12 Inhaltsverzeichnis

7.5.6	Spezielle Wärmekapazität von trockener Luft bei konstantem Druck .....	197
7.5.7	Stoffwerte von Wasser bei Sättigungsdruck .....	198
7.5.8	Stoffwerte von trockener Luft .....	199
7.5.9	Spezielle Wärmekapazität von trockener Luft und Rauchgasen .....	200
7.5.10	$h$ - $x$ -Diagramm für feuchte Luft .....	201
7.5.11	Stoffwertebereich von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen .....	202
7.6	Kalkulation .....	203
7.6.1	Montagezeiten für die häufigsten Stahlrohrleitungsteile .....	203
7.6.2	Spezifische Kosten von Wärmeaustauschern aus C-Stahl .....	204
7.6.3	Spezifische Kosten von Behältern aus C-Stahl .....	205
7.6.4	Kosten für Anlagenteile in Abhängigkeit von der Nennweite .....	206
7.6.5	Richtwerte für spezielle Kosten .....	207
7.6.6	Heizwerte von Brennstoffen .....	208
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>209</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>211</b>