

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Planung von Anlagen	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 Prozessleitechnik (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 Umweltrisikoanalyse	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 Liefegrenzen und Leistungsgrenzen des Lieferers	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 Kaufmännische Planung	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 Amortisationsdauer 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
3	Bauliche Planung	93
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 Lieferers	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	Inbetriebnahmeverlauf 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
4	Betrieb der Anlage	103
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
5	Beispielhafter Ablauf eines Anlagenprojektes in Diagrammen	107
5.1	Zeitliche Planung	107
5.2	Typischer Planungsablauf	108
5.3	Aufgaben und Zielstellungen der Inbetriebnahme	109
5.4	Typischer Inbetriebnahmeverlauf	109
5.5	Betrieb der Anlage	110
5.6	Pumpenüberwachung	110

10 Inhaltsverzeichnis

5.7	Standardablauf einer Wartung	111
5.8	Standardablauf einer Inspektion	112
5.9	Standardablauf einer Instandsetzung	113
6	Projektierungsgleichungen und Faustformeln	115
6.1	Allgemeines	115
6.2	Projektierungsgleichungen	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	Rohrleitungsinnendurchmesser	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
7	Datensammlung und Planungsmaterial	127
7.1	Auslegungen	127
7.1.1	Strömungsgeschwindigkeiten aus der Praxis	127
7.1.2	Hauptdaten von Rohrleitungen und Rohrleitungselementen	128
7.1.3	Rohrabschlussabmessungen, die sich aus den Flanschnormen ergeben	130
7.1.4	Kenngrößen für die Druckverlustberechnung	131
7.1.5	Verlusthöhenbestimmung bei Wasserleitungen	132
7.1.6	Nomogramm zur Berechnung des Strömungswiderstandes von Rohrleitungen	133
7.1.7	Geschwindigkeit und Druckverlust in durchströmten Röhren	134
7.1.8	Verlusthöhe	135
7.1.9	Erforderliche Dehnschenkellängen bei warmgehenden Stahlrohrleitungen	136
7.1.10	Verhältnis der gestreckten Länge zur Verbindungsstrecke 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	Abblasleistungen 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 Ringgehäusepumpen	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 nicht austenitische 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: $P_{(Dampf, TS)} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	187
7.4.6	Behältereinstufung (Druckgeräte RL)	
	Fluide der Gruppe 2: $P_{(Dampf, TS)} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	188
7.4.7	Behältereinstufung (Druckgeräte RL)	
	Fluide der Gruppe 1, Flüssigkeiten: $P_{(Dampf, TS)} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	188
7.4.8	Behältereinstufung (Druckgeräte RL)	
	Fluide der Gruppe 2, Flüssigkeiten: $P_{(Dampf, TS)} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	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: $P_{(Dampf, TS)} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	190
7.4.11	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 2: $P_{(Dampf, TS)} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	190
7.4.12	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 1: $P_{(Dampf, TS)} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	191
7.4.13	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 2: $P_{(Dampf, TS)} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	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	Enthalpediagramm 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	$\lambda\text{-}x$ -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
	Literaturverzeichnis	209
	Stichwortverzeichnis	211