

Inhalt

1 Einführung	1
2 Systemübersicht und Vorteile der KWK.....	5
2.1 Anlagenübersicht	7
2.2 Energetische und ökologische Vorteile der KWK.....	15
3 Methodisches Vorgehen bei der Vorbereitung von System-	
entscheidungen	21
3.1 Darstellung der Rahmenbedingungen.....	22
3.2 Zusammenstellung der technischen und wirtschaftlichen	
Grundlagen für Auswahl und Berechnung der Varianten.....	23
3.3 Ermittlung und Analyse der Bedarfswerte.....	23
3.4 Darstellung und Analyse der vorhandenen Energie-	
versorgungsanlagen	24
3.5 Auswahl und Dimensionierung von Energieversorgungs-	
varianten	25
3.6 Berechnung der ökonomischen Eckdaten und Varianten-	
gegenüberstellung	26
3.7 Ökologische Systemanalyse und Variantengegenüberstellung	27
3.8 Zusammenfassende Bewertung und Systemempfehlung.....	27
4 Anlagenauswahl und Dimensionierung.....	29
4.1 Auswahl der einsetzbaren KWK-Anlagen.....	30
4.2 Festlegung der Betriebsart	32
4.3 Leistungsauslegung der Gesamtanlage.....	34
4.4 Auswahl und Dimensionierung der peripheren Hilfsein-	
richtungen und Anlagen für jede Variante.....	37
4.5 Erstellen der Aufstellungskonzepte	37
4.6 Festlegung der Mengengerüste und Ermittlung der	
Investitionen und der dazugehörigen Kapitalkosten.....	38
4.7 Ermittlung der Bedarfswerte.....	38
4.8 Ermittlung der Kosten	38

4.9	Ökonomische und ökologische Variantengegenüberstellung.....	38
4.10	Optimierung der Auslegungsdaten	39
5	Technische Grundlagen.....	41
5.1	KWK-Anlagen mit Verbrennungsmotoren.....	55
5.1.1	Aufbau und Integration in die Wärmeversorgung.....	57
5.1.2	Aufstellungsverhältnisse/Gesamtanlagenumfang.....	60
5.1.3	Motorbauarten/Aggregatetechnik.....	67
5.1.4	Emissionen/Emissionsminderungsmaßnahmen.....	70
5.1.5	Basisdaten der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	79
5.1.5.1	Leistungsdaten.....	81
5.1.5.2	Jahresarbeit.....	83
5.1.5.3	Investitionen.....	86
5.1.5.4	Wartungs- und Instandhaltungsaufwand.....	87
5.1.5.5	Personalaufwand.....	90
5.1.6	Konzeption von Klein-BHKW-Anlagen.....	91
5.2	KWK-Anlagen mit Gasturbinen.....	93
5.2.1	Gesamt-Anlagenprozess.....	95
5.2.1.1	Einfacher, offener Gasturbinenprozess mit Abhitzeessel.....	98
5.2.1.2	Gas- und Dampfturbinenprozess.....	98
5.2.1.3	Gasturbine mit Dampfeinspritzung (Cheng-Prozess).....	101
5.2.2	Aufstellungsverhältnisse/Gesamtanlage.....	102
5.2.3	Gasturbinenbauarten.....	112
5.2.4	Emissionen/Emissionsminderungsmaßnahmen.....	116
5.2.5	Basisdaten der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	117
5.2.5.1	Leistungswerte.....	118
5.2.5.2	Jahresarbeit.....	121
5.2.5.3	Investitionen.....	125
5.2.5.4	Wartungs- und Instandhaltungsaufwand.....	126
5.2.5.5	Personalbedarf.....	128
5.3	KWK-Anlagen mit Dampfturbinen.....	131
5.3.1	Gesamtanlagenprozess.....	133
5.3.2	Aufstellungsverhältnisse/Gesamtanlagenumfang.....	139
5.3.2.1	Dampfturbinentechnik.....	141
5.3.2.2	Dampfkesselanlagen für Dampfturbinen-HKW.....	144
5.3.3	Bauarten und technische Rahmenbedingungen für die Konzeptionierung von Heizkraftwerken mit Dampfturbinen..	154
5.3.4	Emissionen/Verbrennungsrückstände.....	158
5.3.4.1	Emissionen.....	158
5.3.4.2	Verbrennungsrückstände.....	164
5.3.5	Basisdaten der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	165

5.3.5.1 Leistungswerte	166
5.3.5.2 Jahresarbeit	188
5.3.5.3 Investitionen	191
5.3.5.4 Wartungs- und Instandhaltungsaufwand	192
5.3.5.5 Personalaufwand	194
5.4 Sonstige KWK-Anlagen	197
5.4.1 Direktantrieb von Arbeitsmaschinen durch Verbrennungs- kraftmaschinen oder Dampfturbinen	197
5.4.2 KWK-Anlagen auf Basis von Dampfmotoren	198
5.4.3 Verbrennungsmotorwärmepumpen	199
5.4.4 Absorptionskälteanlagen	203
5.4.5 Adsorptionskälteanlagen	208
5.4.6 ORC-Anlagen und ihre Anwendung in der Geothermie	210
5.4.7 ORC-Anlagen zur Nutzung von Abwärme	215
5.4.8 Stirling-Motoren	216
5.4.9 Brennstoffzellen-Heizkraftwerke	219
5.4.10 KWK-Anlagen in virtuellen Kraftwerken	222
5.5 Biomasse- und Bioreststoffe-Vergasungsanlagen	225
5.5.1 Vergasungsanlagen für holzartige Biomasse	226
5.5.2 Biogasanlagen	236
5.5.3 Verölungsanlagen	242
 6 Investitionsrechnungen – Betriebswirtschaftliche Grundlagen	245
6.1 Allgemeines	246
6.2 Statische Verfahren	249
6.2.1 Kostenvergleichsrechnung	249
6.2.2 Gewinnvergleichsrechnung	252
6.2.3 Rentabilitätsvergleichsrechnung	253
6.2.4 Amortisationsrechnung	255
6.2.5 MAPI-Methode	258
6.2.6 Anmerkungen zu den statischen Verfahren der Investitionsrechnung	260
6.3 Dynamische Verfahren	261
6.3.1 Kapitalwertmethode	265
6.3.2 Interne Zinsfuß-Methode	267
6.3.3 Annuitätenmethode	269
6.3.4 Anmerkungen zu den dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung	271
6.4 Beispiel für die Anwendung der Investitionsrechnung in der Praxis	274

7 Wirtschaftlichkeitsberechnung und Rahmenbedingungen.....	287
7.1 Kostenansätze und Rahmenbedingungen	289
7.2 Berechnung der Leistungs- und Arbeitswerte	300
7.3 Zusammenstellung der Investitionen und der Kapitalkosten	311
7.4 Zusammenstellung der betriebsgebundenen Kosten.....	314
7.5 Jahreskostenberechnung und Variantengegenüberstellung	316
7.6 Sensitivitätsanalyse.....	320
8 Ökologische Systemanalyse.....	321
8.1 Schadstoffbilanz	321
8.2 Ökologische Bewertung der Systeme	328
8.2.1 Emissionsbewertung.....	328
8.2.2 Immissionsbewertung.....	333
8.3 Die Kraft-Wärme-Kopplung im Emissionshandel	334
8.3.1 Das Prinzip des Emissionshandels	335
8.3.2 Beispiel für den Emissionshandel (Abb. 8.3-1):.....	335
8.3.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen des Emissionshandels.....	336
8.3.4 Die Bedeutung der KWK für die CO ₂ -Emissionen des deutschen Kraftwerksparks.....	338
8.3.5 Klimaschutz als übergeordnetes Ziel; gesetzliche Fest- legungen	338
9. Beispiele ausgeführter KWK-Anlagen.....	341
9.1 Kraft-Wärme-Kälte-Druckluft-Kopplung.....	341
9.1.1 Anlagenbeschreibung Kraft-Wärme-Kälte-Druckluft- Kopplung.....	342
9.1.1.1 Energiebereitstellung	342
9.1.1.2 Energieverteilung	343
9.1.1.3 Struktur Energieverwendung	344
9.1.2 Betriebspunkte der Anlage	344
9.1.2.1 Betriebspunktbestimmung Dampferzeuger	344
9.1.2.2 Betriebspunktbestimmung der Turbinen	347
9.1.2.3 Schichtenmodell zur Anlagenbetrachtung	352
9.1.2.4 Bewertung der Kraft-Wärme-Kälte-Druckluft- Kopplung	355
9.2 Standardisierte BHKW-Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	361
9.3 Biomasse-Heizkraftwerk, Realisierungsergebnisse.....	364
9.4 Nachrüstung eines bestehenden Dampfturbinen- Heizkraftwerks.....	368
9.4.1 Aufgabenstellung.....	368
9.4.2 Ergebnis der Bestandsaufnahme.....	368

9.4.3 Auswahl und Dimensionierung technisch sinnvoller Varianten	369
9.4.3.1 Variante 9.4-I: Nachrüstung einer Gasturbinenanlage ..	370
9.4.3.2 Variante 9.4-II: Nachrüstung eines Heißwasserkessels ..	370
9.4.4 Ökonomische und ökologische Gegenüberstellung der ausgewählten Varianten.....	370
9.5 Wärmeauskopplung aus großen GuD-Anlagen	387
9.6 Energieversorgung mit einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage	392
9.7 Strom- und Wärmeerzeugung mit holzartiger Biomasse gemäß EEG.....	401
9.7.1 Variante 1: Biomasse-HKW mit Dampfturbine	410
9.7.2 Variante 2: Biomasse-HKW mit ORC-Turbine.....	419
9.7.3 Variante 3: Holzvergasungsanlage mit BHKW	424
Literatur	433
Stichwortverzeichnis.....	441
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	447