

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Dank für die Unterstützung und Zuarbeit..... IX

Kapitelübersicht..... XIII

Inhaltsverzeichnis XV

1 Einleitung und Grundbegriffe..... 1

 1.1 Fernwärme 1

 1.1.1 Grundbegriffe 1

 1.1.2 Kennzahlen 1

 1.1.3 Statistik auf einen Blick..... 2

 1.2 Fernkälte 3

 1.3 Das Standard Internationale Einheitensystem 4

 1.3.1 Physikalische Größen und deren Einheiten 4

 1.3.2 Regeln für die Schreibweise von Größen und Einheiten 8

 1.3.3 Der richtige Umgang mit Einheiten und Formeln 9

2 Gekoppelte Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung 11

 2.1 Der Kraft-Wärme-Kopplungs-Kreisprozess 11

 2.1.1 Das Grundprinzip der Kraft-Wärme-Kopplung..... 11

 2.1.2 Dampf-Kreisprozesse im Vergleich 12

 2.1.3 Flussdiagramme, getrennte vs. gekoppelte Erzeugung..... 13

 2.2 Gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung – KWK 14

 2.2.1 Kennzahlen 14

 2.2.2 Beziehungen zwischen den Kennzahlen..... 17

 2.2.3 Richtwerte für Kennzahlen verschiedener Anlagentypen 19

3 Heizkraftwerke – Aufbau, Funktion und Betrieb 21

 3.1 Aufbaukonzept der Fernwärmeerzeugung..... 21

 3.2 Dampfturbinen-Heizkraftwerke..... 23

 3.2.1 Der Dampf-Kreisprozess mit Wärmeauskopplung..... 23

 3.2.2 Aufbau & Funktionsweise von Dampfturbinen-HKW 24

 3.2.3 Stromausbeute und -einbuße bei der Wärmeauskopplung 26

3.2.4	Äquivalente Kondensationsleistung	28
3.3	Gasturbinen-Heizkraftwerke	29
3.3.1	Der Gasturbinenprozess	29
3.3.2	Aufbau von Gasturbinen Heizkraftwerken.....	31
3.3.3	Gasturbinentechnologien – Heavy Duty vs. Aeroderivative .	32
3.3.4	Aeroderivative GT vs. Gasmotoren für Lastausgleich	33
3.3.5	Der Abhitzeessel.....	34
3.3.6	Kennzahlen von Gasturbinen Heizkraftwerken.....	36
3.4	Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke	37
3.4.1	Der Gas- und Dampfturbinen Kreisprozess	37
3.4.2	Aufbau und Funktionsweise	37
3.4.3	Kennzahlen von GuD-Heizkraftwerken	38
3.5	Verbrennungsmotor-Heizkraftwerke.....	39
3.5.1	Aufbau und Funktionsweise	39
3.5.2	Verbrennungsmotortechnologien im Überblick	42
3.5.3	Brennstoffflexibilität	43
3.5.4	Betriebliche Vorteile der Multi-Unit-Bauweise	43
3.5.5	Ausgleich von Lastschwankungen Motor- vs. GT-HKW	43
3.6	Technologie-Maßstab – Das Küstenkraftwerk K.I.E.L.	44
3.6.1	Die Vorgeschichte	44
3.6.2	Das neue Küstenkraftwerk	46
4	Fernwärmesysteme in West- und Osteuropa.....	49
4.1	Fernwärme in Deutschland.....	49
4.1.1	Historischer Rückblick	49
4.1.2	Struktur und Hauptkomponenten der Fernwärme	50
4.1.3	Die Fernwärmerzeugung	51
4.1.4	Das Fernwärmenetz	51
4.1.5	Die Hausanlage.....	52
4.1.6	Wärmeverbrauchsmessung und Abrechnung	52
4.2	Fernwärme in Osteuropa und ehemaliger Sowjetunion	53
4.2.1	Das 2/4-Leiter FW-System, FW-Erzeugung und -Verteilung	53

4.2.2	Wärmeverbrauch und Heizkostenabrechnung	55
4.2.3	Sanierungskonzept.....	55
4.3	Das offene Zweileiter-Fernwärmesystem in Russland	56
4.3.1	Systemaufbau	56
4.3.2	Sanierung von verkalkten FW-Leitungen.....	58
5	Dimensionierung von Fernwärmeleitungen	61
5.1	Dimensionierungsansätze	61
5.1.1	Wassergeschwindigkeit vs. spezifischer Druckverlust.....	61
5.1.2	Rohrdurchmesser-Dimensionierung	63
5.1.3	Auswirkungen auf die Pumpleistung.....	64
5.1.4	Folgen bei Unterdimensionierung von FW-Leitungen.....	64
5.2	Transportkapazität von Fernwärmeleitungen	66
5.3	Pumpstromaufwand für Fernwärmetransport.....	68
5.4	Fernwärme-Netzbetrieb und Fahrweise.....	70
5.4.1	Temperaturauslegung und Fahrweise	70
5.4.2	Druckauslegung und Fahrweise.....	70
5.5	Software-Tools für FW-Fernleitungsauslegung	72
6	Systemkomponenten von Fernwärmesystemen.....	75
6.1	Die Pumpstation	75
6.2	Fernwärme-Netzvarianten	77
6.3	Verlegearten von Rohrleitungen.....	79
6.3.1	Anforderungen.....	79
6.3.2	Kanalverlegung.....	79
6.3.3	Kanalfreie Verlegung – Kunststoffmantelrohre	80
6.3.4	Kanalfreie Verlegung mit Vollkunststoffrohrsystemen.....	83
6.3.5	Kanalfreie Verlegung mit Stahlmantelrohren.....	84
6.3.6	Freileitungssysteme	85
6.3.7	Verlegekosten und Entwicklungsschwerpunkte	85
6.4	Hausanschluss und Hausanlage	86
6.4.1	Der Hausanschluss.....	86
6.4.2	Die Hausübergabestation.....	87

6.4.3	Wärmeverbrauchs- messung und Abrechnung	89
7	Fernwärmeschienen.....	91
7.1	Der Fernwärmeverbund Saar.....	91
7.2	Der Fernwärmeverbund Mittlerer Neckar	93
7.3	Die Fernwärmeversorgung in der Rhein-Ruhr Region.....	95
7.3.1	Die Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr	95
7.3.2	Die Fernwärmeschiene Niederrhein	96
7.4	Die Fernwärmeschiene Melnik-Prag	98
7.4.1	Geschichtlicher Hintergrund	98
7.4.2	Das Melnik-Prag Projekt	99
7.4.3	Die Realisierungsphasen des Melnik-Prag Projektes	100
7.4.4	Das Melnik Kraftwerk.....	100
7.5	Aufbau & Betrieb von Dampf-Fernwärmenetzen	101
7.5.1	Leitungsverlegung und Netzbetrieb	101
7.5.2	Industrielle Dampfnetze	102
7.5.3	Städtische Dampfnetze	104
8	Aufbau- und Betrieb von Kältesystemen	105
8.1	Einleitung	105
8.1.1	Nomenklatur.....	105
8.1.2	Kältelast für die Auslegung der Anlage	105
8.2	Kompressions-Kälteanlagen	106
8.2.1	Der Kompressions-Kältekreislauf	106
8.2.2	Anwendungsfälle von Kompressions-Kälteanlagen.....	109
8.2.3	Der reale Kompressions-Kälteprozess	110
8.2.4	Die Kältemittel	112
8.2.5	Benennung von Kältemitteln.....	113
8.2.6	Mechanische Bauteile von Kompressions-Kälteanlagen	113
8.2.7	Kältespeicherung	117
8.3	Absorptions-Kälteanlagen	117
8.3.1	Der Absorptions-Kreisprozess.....	117
8.3.2	Analyse des Absorptionskälte-Kreisprozesses	119

XIX Inhaltsverzeichnis

8.4	Vergleichende Gegenüberstellung der Kälteanlagen.....	123
8.5	Fernkälte-Versorgung.....	124
8.5.1	Kälteversorgung mit Kompressions-Anlagen.....	124
8.5.2	Absorption-Kompression Kälteversorgung.....	124
8.5.3	Nutzung von Naturkälte	125
8.6	Das Fernkältenetz	126
8.7	Fernkälte in Europa	128
9	Investitionsrechnung, Kosten und Preisbildung	129
9.1	Investitionsrechnung im Überblick	129
9.1.1	Gegenstand und Ansätze der Investitionsrechnung.....	129
9.1.2	Die Kapitalwertmethode.....	131
9.1.3	Die Annuitätenmethode.....	132
9.1.4	Die Interne Zinssatzmethode	133
9.1.5	Funktionen in Tabellenkalkulationsprogrammen	133
9.1.6	Berechnung der Durchschnittskosten – LEC	135
9.2	Fernwärmegestehungskosten.....	137
9.2.1	FW-Auskopplung aus Groß-Kraftwerken	137
9.2.2	FW-Erzeugungskosten aus Verbrennungsmotor-HKW	139
9.2.3	Dampfgestehungskosten von Industrie-Gasturbinen-HKW	141
9.3	Fernwärmenetzkosten.....	143
9.3.1	FW-Leitung Verlegungskosten.....	143
9.3.2	Kosten für Hausübergabestationen	144
9.3.3	Fernwärmekosten frei Endverbraucher	145
9.3.4	Kraft-Wärme-Kopplung vs. erneuerbare Energien.....	146
9.3.5	Gesetzliche Rahmenbedingungen zur Preisbildung	147
9.3.6	Fernwärmepreis und Preisgleitformel	147
9.4	Modell zur Kostenermittlung bei Fernkälte.....	148
9.5	Unsicherheitsanalyse bei Investitionsvorhaben.....	151
9.5.1	Sensitivitätsanalyse.....	151
9.5.2	Break-even-point	152
9.5.3	Szenarien-Analyse.....	152

9.5.4	SWOT-Analyse	153
9.5.5	Überschreitungswahrscheinlichkeit.....	154
9.6	Randbedingungen für Investitionsrechnungen	155
9.6.1	Begriffsbestimmungen	155
9.6.2	Kostenarten bei Energieinvestitionsprojekte	157
9.6.3	Randbedingungen bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	157
10	Kostenzuordnung bei von KWK und KWKK.....	159
10.1	Zuordnungsverfahren bei KWK im Überblick.....	159
10.2	Das Restwertverfahren	160
10.2.1	Anwendungsbereich	160
10.2.2	Beschreibung des Verfahrens	160
10.2.3	Sensitivität gegenüber Preisänderungen.....	163
10.2.4	Anwendung des Restwertverfahrens bei Industrieanlagen..	165
10.2.5	Zuordnung von Brennstoff und CO ₂ -Emissionen	165
10.3	Das Stromäquivalenz- oder Arbeitswertverfahren	166
10.3.1	Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken	167
10.3.2	Wärmeauskopplung aus Entnahme-Kondensations-HKW .	170
10.4	Das Exergie Verfahren	171
10.4.1	Anwendung des Exergie-Verfahrens.....	172
10.5	Das kalorische Verfahren	173
10.6	Kosten bei Kraft-Wärme-Kälte Kopplung KWKK	173
	Fallstudien	175
	Toolbox	179
	Literaturverzeichnis und Referenzen.....	191
	Annexes.....	197
	Glossar Deutsch-Englisch	201
	Abkürzungen und Akronyme	207
	Sachverzeichnis – Index.....	213