

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung..... 1**
 - 1.1 Hintergrund 4
 - 1.2 Zielstellung..... 7
 - 1.3 Aufbau der Arbeit..... 8
- 2 Energieversorgung von Großkrankenhäusern 11**
 - 2.1 Energienachfrage..... 13
 - 2.2 Energiekonversion..... 15
 - 2.2.1 Energiekonversionsanlagen..... 15
 - 2.2.1.1 Blockheizkraftwerke..... 15
 - 2.2.1.2 Heizkessel 20
 - 2.2.1.3 Dampferzeuger 26
 - 2.2.1.4 Kältemaschinen..... 30
 - 2.2.1.5 Thermische Speicher 37
 - 2.2.2 Zusammenschaltung mehrerer Energiekonversionsanlagen..... 40
 - 2.3 Beschaffung von Energieträgern 42
 - 2.3.1 Strom 42
 - 2.3.1.1 Stromhandel 43
 - 2.3.1.2 Ausgleichsenergie..... 46
 - 2.3.2 Erdgas 47
 - 2.3.3 Heizöl 48
 - 2.3.4 Fernwärme..... 49

3 Methodenentwicklung	51
3.1 Gesamtansatz.....	52
3.2 Nachfrageprognose.....	55
3.2.1 Methodische Grundlagen	56
3.2.2 Verwendeter Ansatz	57
3.2.2.1 Prognose der absoluten Energienachfrage.....	60
3.2.2.2 Energienachfrageprognose über die Nachfrageänderung	64
3.2.2.3 Zusammenführung der Prognosen	66
3.3 Abbildung von Energiekonversionsanlagen	67
3.3.1 Methodische Grundlagen	68
3.3.2 Verwendete Ansätze.....	69
3.3.2.1 Blockheizkraftwerk.....	70
3.3.2.2 Großwasserraumkessel	71
3.3.2.3 Kältemaschinen.....	82
3.3.2.4 Thermische Speicher	87
3.4 Angebotsmodellierung	88
3.4.1 Methodische Grundlagen	90
3.4.2 Verwendeter Ansatz	92
3.4.2.1 Prognose der absoluten Strompreise	95
3.4.2.2 Prognose der Strompreisänderungen	96
3.4.2.3 Zusammenführung der Prognosen	97
3.5 Optimierung von Energiebereitstellungssystemen.....	98
3.5.1 Methodische Grundlagen	99
3.5.2 Verwendeter Ansatz	101
3.5.2.1 Folgesteueringen von Anlagenverbunden	104
3.5.2.2 Einsatz des Blockheizkraftwerks.....	105
3.5.2.3 Abwärmenutzung des Blockheizkraftwerks.....	106
3.5.2.4 Fahrplanoptimierung.....	108

3.6	Wirtschaftliche Bewertung von Variationen des Energiebereitstellungssystems	109
3.6.1	Kapitalwert	110
3.6.2	Dynamische Amortisationszeit	111
4	Untersuchungsbeispiel	113
4.1	Definition der Liegenschaft	115
4.1.1	Energienachfrage	115
4.1.1.1	Strom	116
4.1.1.2	Wärme	116
4.1.1.3	Kälte	117
4.1.1.4	Dampf	118
4.1.2	Energiekonversionsanlagen	118
4.1.2.1	Strombereitstellung	119
4.1.2.2	Wärmebereitstellung	119
4.1.2.3	Kältebereitstellung	119
4.1.2.4	Dampfbereitstellung	121
4.1.3	Energieträgerbeschaffung	122
4.1.4	Referenzbetrieb	123
4.1.4.1	Betriebsweise Blockheizkraftwerk	123
4.1.4.2	Betriebsweise Kältemaschinen	123
4.1.4.3	Betriebsweise Dampferzeuger	124
4.2	Definition des Untersuchungsbeispiels	125
4.2.1	Aufgabenstellung: Betriebliche Optimierung	125
4.2.2	Aufgabenstellung: Modifikation des Energiebereitstellungssystems	126
4.2.2.1	Variante 1: Austausch Kältemaschinen	126
4.2.2.2	Variante 2: Nachrüstung Lambda-Wächter	127
4.2.2.3	Variante 3: Implementierung eines Kältespeichers	128

4.2.2.4	Variante 4: Kältespeicher mit Zugang zum börslichen Stromhandel	129
4.2.2.5	Variante 5: Batteriespeicher mit Zugang zum börslichen Stromhandel	129
4.3	Prognose der Energienachfrage	130
4.3.1	Ergebnisdarstellung	130
4.3.1.1	Strom	130
4.3.1.2	Wärme	133
4.3.1.3	Kälte	136
4.3.1.4	Dampf	139
4.3.2	Diskussion der Prognosegüte	142
4.3.2.1	Betrachtungszeitraum	142
4.3.2.2	Einfluss der methodischen Komponenten	151
4.4	Abbildung der Energiekonversionsanlagen	153
4.4.1	Blockheizkraftwerk	153
4.4.2	Großwasserraumkessel	154
4.4.2.1	Dampferzeuger 1 und 2	154
4.4.2.2	Dampferzeuger 3	156
4.4.2.3	Dampferzeuger 4	156
4.4.2.4	Folgesteuerung	157
4.4.3	Kältemaschinen	159
4.4.3.1	Kältemaschine 1 und 2	160
4.4.3.2	Kältemaschine 3	161
4.4.3.3	Kältemaschine 4	162
4.4.3.4	Kältemaschine 5	163
4.4.3.5	Folgesteuerung	164
4.5	Prognose der Strompreise	166
4.5.1	Ergebnisdarstellung	166

4.5.1.1	Auswahl der Netztopologie	167
4.5.1.2	Prognose der zu erwartenden Strompreise	169
4.5.2	Ergebnisdiskussion.....	172
4.5.2.1	Betrachtungszeitraum	173
4.5.2.2	Einfluss der methodischen Komponenten	174
4.6	Aufgabenstellung: Betriebliche Optimierung	175
4.6.1	Ergebnisdarstellung.....	175
4.6.1.1	Exemplarischer Zeitraum	176
4.6.1.2	Zeitraum mit hoher zu erwartender monetärer Einsparung...	180
4.6.1.3	Zeitraum mit niedriger zu erwartender monetärer Einsparung.....	185
4.6.2	Ergebnisdiskussion.....	189
4.6.2.1	Vergleich der Betriebskosten.....	189
4.6.2.2	Einfluss der Prognoseungenauigkeiten.....	195
4.6.2.3	Einfluss der Folgesteuerungen.....	196
4.7	Aufgabenstellung: Modifikation des Energiebereitstellungssystems	198
4.7.1	Austausch der Schraubenverdichter-Kältemaschinen.....	199
4.7.1.1	Auswirkungen auf das Energiebereitstellungssystem	199
4.7.1.2	Vergleich der Betriebskosten.....	201
4.7.2	Nachrüstung Lambda-Wächter	203
4.7.2.1	Auswirkungen auf das Energiebereitstellungssystem	204
4.7.2.2	Vergleich der Betriebskosten.....	206
4.7.3	Implementierung Kältespeicher	207
4.7.3.1	Auswirkungen auf das Energiebereitstellungssystem	207
4.7.3.2	Vergleich der Betriebskosten.....	208
4.7.4	Kältespeicher in Verbindung mit börslichem Stromhandel	210
4.7.4.1	Auswirkungen auf das Energiebereitstellungssystem	210

4.7.4.2	Vergleich der Betriebskosten.....	211
4.7.5	Batteriespeicher in Verbindung mit börslichem Stromhandel...	212
4.7.5.1	Auswirkungen auf das Energiebereitstellungssystem	212
4.7.5.2	Vergleich der Betriebskosten.....	214
5	Schlussbetrachtung	217
	Literaturverzeichnis.....	223
A	Anhang.....	237
A.1	Bestimmung der mittleren spezifischen Wärmekapazitäten.....	237
A.2	Analyse der Temperaturprognosedaten.....	238