

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XVII
Symbolverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	2
1.1.1 Thermische Energiespeicher	3
1.1.2 Wärmenetze mit Wärmepumpen und thermischen Energiespeichern	5
1.1.3 Einsatzplanung von Erzeugern (Nutzwärme)	12
1.2 Zielsetzung der Arbeit	12
1.3 Aufbau der Arbeit	15
2 Referenzquartier und -system	17
2.1 Ortsteil Marienthal (Zwickau, Sachsen)	17
2.2 Randbedingungen / Netzlast und Temperaturen	18
2.3 Lösungsansatz	20
2.3.1 Schaltschema für die Energiezentrale	20
2.3.2 Strombedarf der Wärmepumpen	22
2.3.3 Strombedarf der Umwälzpumpen	23
2.4 Kostenermittlung und Festlegungen	28
2.4.1 Kapitalgebundene Kosten	28
2.4.2 Energiebezugskosten, CO ₂ -Emissionen und Klimakosten	32
2.4.3 Referenzsteuersignale	34
2.5 Referenzsysteme	36
2.6 Fazit	37
3 Transiente Simulation des Wärmepumpen-Speicher-Systems	41
3.1 Modell	41
3.2 TRNSYS-Parameterstudien	42
3.3 Fazit	47
4 Modell zur Erzeugereinsatzoptimierung	49
4.1 Modellstruktur	49
4.2 Wärmeerzeuger	50
4.3 Wärmespeicher	51
4.4 Umwälzpumpen, Hilfsenergie	52
4.5 Anfahrkosten der Wärmepumpen	53

4.6	Minimale Stillstands- und Betriebszeiten der Wärmepumpen.....	53
4.7	Lastdeckung.....	54
4.8	Zielfunktionen.....	55
4.9	Modellausbauvarianten.....	56
4.10	Fazit.....	57
5	Untersuchungen zum praktischen Einsatz vom MATLAB/CPLEX-Modell....	59
5.1	Sensitivitätsanalyse	59
5.1.1	Simulationsumgebung.....	60
5.1.2	Trassenlänge und Speichervolumen.....	63
5.1.3	Leistungszahl	65
5.1.4	Nebenbedingungen.....	66
5.2	Parameterstudien mit Berücksichtigung der Betriebsoptimierung.....	72
5.3	Diskussion der ausgewählten Varianten	75
5.4	Gekoppelte TRNSYS - MATLAB/CPLEX-Simulation	77
5.4.1	Beispiel 1: Demonstration des Konzeptes.....	78
5.4.2	Beispiel 2: Einfluss der Lastabweichungen	79
5.5	Fazit.....	82
6	Flexibilitätspotential	85
6.1	Ansätze zur Bewertung der Flexibilität.....	85
6.2	Anlagenmanagement.....	88
6.2.1	Betriebsweisen des Wärmepumpen-Speicher-Systems.....	89
6.2.2	Nutzungsanteil des erneuerbaren Stroms	93
6.2.3	Wärmepumpen-Laufzeit und Auswirkung beim Speicher.....	96
6.2.4	Versorgungssicherheit.....	99
6.3	Fazit.....	104
7	Zusammenfassung.....	107
8	Literaturverzeichnis	111
Anhang		119