

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Nomenklatur .....</b>	<b>VII</b>
Abkürzungen .....	VII
Formelzeichen .....	VIII
Verwendete Indizes.....	XIII
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielstellung.....	2
1.3 Stand der Forschung.....	4
1.4 Aufbau der Arbeit.....	7
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>9</b>
2.1 Lastmanagement .....	9
2.1.1 Definition .....	9
2.1.2 Einsatzmöglichkeiten von Lastmanagement.....	9
2.2 Siedlungen in Deutschland .....	11
2.2.1 Siedlungstypisierungen .....	11
2.2.2 Verbreitung der einzelnen Siedlungstypen in Deutschland.....	13
2.3 Mathematische Optimierung.....	14
<b>3 Methodik.....</b>	<b>18</b>
3.1 Methodische Vorgehensweise .....	18
3.2 Bewertungsrahmen .....	20
3.3 Begriffskonventionen .....	21
3.4 Simulationsumgebungen.....	22
<b>4 Szenarienauswahl und -beschreibung.....</b>	<b>24</b>
4.1 Szenariendefinition.....	24
4.1.1 Auswahl Anwendungsziele .....	24
4.1.2 Auswahl Siedlungen .....	25
4.1.3 Synthese zur Auswahl der Szenarien.....	25
4.2 Allgemeine Randbedingungen der Szenarienauswahl .....	26
4.2.1 Meteorologische Daten .....	26
4.2.2 Gebäude .....	26
4.2.3 Versorgungsanlagen .....	29
4.2.4 Elektrische Energieversorgung .....	31
4.3 Beschreibung der betrachteten Szenarien .....	32
4.3.1 Szenario I: Glättung der elektrischen Residuallast in einer dörflichen Siedlung .....	33
4.3.2 Szenario II: Deckung eines elektrischen Bedarfsprofils mit einer MFH-Siedlung .....	38
4.3.3 Szenario III: Minimierung der CO <sub>2</sub> -Emissionen in einer EFH-Siedlung.....	41
4.4 Zusammenfassung der betrachteten Szenarien .....	45

<b>5</b>	<b>Modellierung der energiebezogenen Inputzeitreihen .....</b>	<b>47</b>
5.1	Übergeordnete Parameter .....	47
5.1.1	Meteorologische Daten .....	47
5.1.2	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor der aus dem Stromnetz bezogenen elektrischen Energie .....	48
5.2	Elektrische Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien .....	51
5.2.1	Photovoltaik .....	51
5.2.2	Windenergie .....	52
5.3	Energiebedarfsprofile der Gebäude .....	53
5.3.1	Bedarfsprofile elektrische Leistung .....	55
5.3.2	Bedarfsprofile thermische Leistung Brauchwarmwasser .....	57
5.3.3	Bedarfsprofile thermische Leistung Heizwärme .....	58
<b>6</b>	<b>Modellierung und Optimierung der thermischen Versorgungsanlagen .....</b>	<b>69</b>
6.1	Betriebsweisen der Anlagen in einem Beispielfall .....	69
6.1.1	Betrieb im Referenzfall .....	71
6.1.2	Betrieb mit elektrischem Lastmanagement .....	73
6.1.3	Betrieb mit elektrischem Lastmanagement inklusive Variation der Solltemperatur ..	76
6.1.4	Vergleich der Betriebsweisen .....	78
6.2	Zielfunktionen der betrachteten Szenarien .....	79
6.3	Prognosen .....	82
6.4	Optimierung des gleichzeitigen Einsatzes mehrerer Ausgleichsoptionen .....	84
6.5	Abbildung der einzelnen Anlagentypen .....	88
6.5.1	Grundlegende Elemente der Wärmeversorgungssysteme .....	88
6.5.2	Mikro-KWK-Anlagen .....	95
6.5.3	BHKW .....	98
6.5.4	Wärmepumpen .....	101
6.5.5	Elektrisch betriebene Brauchwarmwasserspeicher .....	107
6.5.6	Nachtspeicherheizungen .....	110
6.5.7	Power-to-Heat .....	114
6.5.8	Anlagen ohne Anbindung an das Stromnetz .....	117
6.6	Fehlerbehandlung .....	117
6.7	Diskussion der Modellierung .....	118
<b>7</b>	<b>Simulation und Auswertung .....</b>	<b>120</b>
7.1	Szenarienvariation .....	120
7.1.1	Variation der Randbedingungen .....	120
7.1.2	Variation der Solltemperatur zur Nutzung der thermischen Trägheit der Gebäude ..	122
7.2	Szenario I .....	125
7.2.1	Anlagenbetrieb .....	125
7.2.2	Jahresbilanzen und -verläufe des gesamten Szenarios .....	129
7.2.3	Szenarienvariation .....	132
7.3	Szenario II .....	134
7.3.1	Anlagenbetrieb .....	135
7.3.2	Jahresbilanzen und -verläufe des gesamten Szenarios .....	138
7.3.3	Szenarienvariation .....	140
7.4	Szenario III .....	143
7.4.1	Anlagenbetrieb .....	143
7.4.2	Jahresbilanzen und -verläufe des gesamten Szenarios .....	146
7.4.3	Szenarienvariation .....	148

7.5	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse .....	150
7.5.1	Anlagenbetrieb .....	150
7.5.2	Jahresbilanzen und -verläufe der gesamten Szenarien.....	151
7.5.3	Szenarienvariation .....	153
7.5.4	Hypothesen zur Bewertung der thermischen Energieausgleichsoptionen.....	154
7.5.5	Gesamtfazit der Simulationsergebnisse .....	157
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>159</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>165</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>181</b>
10.1	Modellierung der el. Energieerzeugung auf Grundlage erneuerbarer Energien .....	181
10.1.1	Photovoltaik.....	181
10.1.2	Windenergie .....	182
10.2	Ein-Zonen-Modell Heizwärmebedarf .....	184
10.2.1	Gebäudebezogene Wärmeströme .....	184
10.2.2	Verwendete Gebäudedaten .....	190
10.2.3	Angaben zur Validierung/Plausibilisierung .....	194
10.3	Simulationsparameter der betrachteten Heizungssysteme .....	198
10.4	Ergebnisse Szenarienauswertungen.....	201
10.4.1	Beispielszenario .....	201
10.4.2	Szenario I .....	205
10.4.3	Szenario II .....	210
10.4.4	Szenario III .....	215
	<b>Kurzlebenslauf .....</b>	<b>218</b>