

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Stand der Forschung	1
1.2	Forschungslücke	3
1.3	Forschungsfragen und Struktur der Arbeit	4
2	Modellierung der Systemkomponenten	7
2.1	Niedrigenergiehausstandard mit heute üblicher Systemauslegung als Referenzgebäude	7
2.2	Meteorologische Eingangsdaten	9
2.3	Modellierung der Photovoltaikeinspeisung	12
2.4	Modellierung der Windenergieeinspeisung	12
2.5	Modellierung der elektrischen Last	14
2.6	Modellierung der thermischen Last	14
2.6.1	Thermisches Gebäudeverhalten	14
2.6.2	Heizlast- und Trinkwarmwasserprofil	19
2.6.3	Annahmen zum Heizsystem	20
2.7	Modellierung des Heizungsspeichers	21
2.8	Modellierung der Wärmepumpe	21
2.9	Modellierung des elektrischen Speichers	23
3	Modellierung des thermisch- elektrischen Gesamtsystems	25
3.1	Modellierung	26
3.1.1	Managementstrategien als lineare Zielfunktion	26
3.1.2	Grundlagen der gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung	27
3.1.3	Normierung der Eingangsgrößen und Modellparameter	28
3.1.4	Problemformulierung	28
3.1.5	Abgeleitete Bewertungsgrößen	36
3.2	Modellvalidierung anhand des Referenzgebäudes	37
3.2.1	Simulationsergebnisse für das Wetterjahr 2015J	39
3.2.2	Simulationsergebnisse für die Extremwetterjahre 2015W und 2015S	42
3.2.3	Fazit zur typischen Auslegung im Einfamilienhaus	44
3.2.4	Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nutzbarkeit des Modells	45
4	Simulationsergebnisse für das thermisch-elektrische Gesamtsystem	47
4.1	Varianten	47
4.1.1	Referenzvariante	49

4.1.2	Variation der Wetterjahre: Varianten 2015W und 2015S . . .	49
4.1.3	Variation der installierten EE-Leistung: Variante 2045J . . .	52
4.1.4	Variation des Gebäudestandards: Variante SFH60	53
4.1.5	Zusammenfassung	54
4.2	Minimierung der maximalen Austauschleistung	57
4.2.1	Referenzvariante in den Szenarien 1, 6 und 11	57
4.2.2	Varianten 2015W und 2015S	63
4.2.3	Varianten 2045J und SFH60	69
4.2.4	Zwischenfazit	75
4.2.5	Übertragung der Ergebnisse auf das Referenzgebäude	77
4.3	Maximierung Vorortverbrauch und Minimierung Wärmepumpenenergie	80
4.3.1	Szenario 1	80
4.3.2	Szenario 6	86
4.3.3	Szenario 11	93
4.3.4	Zwischenfazit	99
4.4	Zusammenfassung	100
5	Thermisch-elektrisches Metamodell	105
5.1	Grundsätze der Metamodellierung	105
5.2	Modellierungsansatz	107
5.3	Abhängigkeit von der elektrischen Speicherkapazität	109
5.4	Abhängigkeit von der Kapazität des Heizungsspeichers	120
5.4.1	Schritt 2a	120
5.4.2	Schritt 2b	130
5.5	Abhängigkeit vom Erzeugungsmix	135
5.6	Zusammenfassung	139
6	Auslegung aus energiesystemischer Sicht	141
6.1	Kosten der Systemkomponenten	141
6.2	Problemformulierung	144
6.2.1	Auslegung der maximalen Netzbelastung	144
6.2.2	Auslegung des Erzeugungsmixes bei gegebener Netzbelastung	145
6.2.3	Auslegung für gegebenen Erzeugungsmix und gegebene Netz- belastung	145
6.3	Ergebnisse	146
6.3.1	Auslegung der maximalen Netzbelastung und des Erzeugungsmixes	146
6.3.2	Auslegung des Erzeugungsmixes bei gegebener Netzbelastung	149
6.3.3	Auslegung für gegebene Netzbelastung und gegebenen Erzeugungsmix	153
6.4	Zusammenfassung	158

7 Einfluss der Speicherkapazitäten auf Netzbelastung und Autarkiegrad	161
7.1 Einfluss im Bereich der Auslegung des Referenzgebäudes	161
7.1.1 Elektrische und thermische Speicher ähnlicher Kapazität . . .	161
7.1.2 Elektrische und thermische Speicher ähnlicher Kosten	164
7.2 Einfluss der Speicherkapazität im Bereich hoher Autarkiegrade . . .	166
7.3 Zusammenfassung	170
8 Zusammenfassung und Ausblick	173
A Modellierung der PV-Einspeisung	181
B Metamodell – Schritt 2a	185
C Einfluss der Speicherkapazität auf die Netzbelastung	191
D Kosten der Systemkomponenten	195
D.1 Elektrische Speicher	195
D.2 Thermische Speicher	196
Abbildungsverzeichnis	197
Tabellenverzeichnis	201
Abkürzungs- und Symbolverzeichnisse	203
Literaturverzeichnis	211