

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	xiii
1. Einleitung.....	1
1.1. Zielstellung	5
1.2. Aufbau	6
2. Hintergrund	9
2.1. Stromversorgung	10
2.1.1. Stromversorgungssystem in Deutschland	10
2.1.2. Energiewirtschaftliche Grundlagen	12
2.1.2.1. Bilanzkreise und Ausgleichsenergie.....	12
2.1.2.2. Strommarkt	15
2.1.3. Herausforderungen der fortgesetzten Systemtransformation.....	22
2.2. Flexibilitätsmaßnahmen	25
2.2.1. Sektorinterne Maßnahmen	25
2.2.2. Sektorenübergreifende Maßnahmen	27
2.3. Heizpatronen in Endkundenheizsystemen.....	28
2.3.1. Heizpatroneneinsatz im Energiesystemkontext	29
2.3.2. Nachfrage und Bereitstellungsstrukturen	31
2.3.3. Endkundenheizsysteme	33
2.3.3.1. Systemaufbau und -betrieb	33
2.3.3.2. Thermischer Energiespeicher	35
2.3.3.3. Heizpatrone.....	36
2.3.3.4. Konventionelles Heizgerät.....	36

2.3.4. Preisstrukturen	37
3. Konzeptentwicklung	39
3.1. Gesamtkonzept	42
3.1.1. Zeitliche Orchestrierung	45
3.1.2. Übergeordnete Steuerungsinfrastruktur	47
3.2. Identifikation des Flexibilitätsbedarfs	49
3.2.1. Methodische Grundlagen	51
3.2.2. Realisierter Ansatz	61
3.3. Identifikation flexibler Nachfragepotenziale	66
3.3.1. Methodische Grundlagen	70
3.3.2. Realisierter Ansatz	73
3.3.2.1. Prognosemodell Speichertemperatur	74
3.3.2.2. Prognosemodell Speichererwärmung	77
3.3.2.3. Fahrplanoptimierung	78
3.4. Realisierungskonzept	81
3.4.1. Installationskonzept auf Heizsystemebene	81
3.4.2. Inbetriebnahme	84
4. Konzeptdemonstration	87
4.1. Konzeptrealisierung	88
4.1.1. Demonstrationshaushalt	88
4.1.2. Realisierte Steuerungsinfrastruktur	90
4.2. Identifikation des Flexibilitätsbedarfs	92
4.2.1. Day-Ahead Auktion	94
4.2.2. Intraday Eröffnungsauktion	103
4.3. Identifikation flexibler Nachfragepotenziale	111
4.3.1. Prognosemodell Speichertemperatur	112
4.3.2. Prognosemodell Speichererwärmung	117
4.3.3. Fahrplanoptimierung	120

4.4. Gesamtkonzept	133
4.5. Fazit zur Konzeptdemonstration.....	137
5. Simulationsgestützte Konzeptbewertung.....	143
5.1. Simulations- und Modellierungsansatz	144
5.1.1. Thermischer Energiespeicher	147
5.1.2. Thermische Energiebereitstellung	148
5.1.3. Thermische Energienachfrage.....	149
5.1.4. Heizpatrone.....	150
5.2. Rahmenannahmen – am Strommarkt orientierter Heizpatronenbetrieb..	150
5.2.1. Stromversorgungssystemspezifische Rahmenannahmen	152
5.2.1.1. Entwicklung der Energieträgerkosten im Wärmesektor.....	153
5.2.1.2. Entwicklung der spezifischen Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung	153
5.2.1.3. Entwicklung der Strompreischarakteristika.....	157
5.2.1.4. Staatlich induzierte Preisbestandteile auf Endkundenebene	158
5.2.2. Heizsystemspezifische Rahmenannahmen.....	161
5.2.2.1. Technische Rahmenannahmen	162
5.2.2.2. Ökologische Rahmenannahmen	165
5.2.2.3. Ökonomische Rahmenannahmen	165
5.3. Plausibilitätsprüfung	167
5.4. Bewertung – am Strommarkt orientierter Heizpatronenbetrieb.....	171
5.4.1. Technische Bewertung	171
5.4.1.1. Nachgefragte elektrische Energie	174
5.4.1.2. Substitutionseffizienz	180
5.4.1.3. Flexibilitätsverfügbarkeit.....	183
5.4.2. Ökologische Bewertung	187
5.4.3. Ökonomische Bewertung	192
5.4.3.1. Operative Kostenreduktion	194
5.4.3.2. Substitutionskosten	197

5.5. Fazit zur simulationsgestützten Konzeptbewertung.....	207
6. Schlussbetrachtung	211
6.1. Konzeptentwicklung.....	212
6.2. Konzeptdemonstration.....	214
6.3. Simulationsgestützte Konzeptbewertung	216
6.4. Ausblick.....	217
Literaturverzeichnis.....	219
A Anhang.....	233
A.1 Gatter einer Long Short-Term Memory Zelle.....	233
A.2 Beispiel einer dynamischen Programmierung.....	234
A.3 Mathematische Beschreibung thermischer Energiespeicher.....	235
A.4 Ergänzende Ergebnisse der simulationsgestützten Konzeptbewertung ..	237