

1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Zielstellung	4
1.3 Inhalt und Struktur der Arbeit	6
2 Stand der Forschung	9
2.1 Betriebsstrategien und Regionalisierungskonzepte	9
2.2 Modelle zur Einsatzoptimierung von Strom-zu-Gas-Anwendungen	11
2.2.1 Strommarktsimulation mit Strom-zu-Gas-Anwendungen	14
2.2.2 Engpassbehebung mit Strom-zu-Gas-Anwendungen	16
2.3 Modelle zur Regionalisierung von Strom-zu-Gas-Anwendungen	20
2.3.1 Integrierte Systemmodellierung	22
2.3.2 Geographische Informationssysteme	22
2.3.3 Kennzahlenbasierte Verfahren	23
2.4 Ableitung des Forschungsbedarfs	24
3 Modellumgebung zur Energiesystemsimulation mit Strom-zu-Gas-Anlagen	29
3.1 Modul zur Regionalisierung von Elektrolysekapazitäten	31
3.1.1 Dezentrale Elektrolysekapazitäten an Onsite-Standorten	31
3.1.2 Zentrale Elektrolysekapazitäten an Offsite-Standorten	37
3.1.3 Ermittlung von Zeitreihen für Strom-zu-Gas-Anwendungen	52
3.2 Modul zur Simulation des Strommarktgeschehens	54
3.2.1 Mehrstufiges Verfahren zur Strommarktsimulation	56
3.2.2 Mathematische Formulierung des Optimierungsproblems	62
3.2.3 Auswertung der Marktsimulationsergebnisse	93
3.3 Modul zur Simulation von Netzbetriebszuständen	96
3.3.1 Modellierung des Leistungsflussverhaltens	98
3.3.2 Nodale Sensitivitätsfaktoren	100
3.3.3 Sensitivitätsfaktoren leistungsflussteuernder Netzbetriebsmittel	101
3.3.4 Sensitivitätsfaktoren im (n-1)-Fall	102
3.4 Modul zur Simulation der lastflussbasierten Kapazitätsberechnung	104
3.4.1 Ermittlung des markt- und netzseitigen Basisfalls	105
3.4.2 Ermittlung von Erzeugungsverschiebungsfaktoren	107
3.4.3 Ermittlung von kritischen Zweig-Ausfall-Kombinationen	109
3.4.4 Ermittlung von grenzüberschreitenden Handelskapazitäten	110
3.4.5 Berücksichtigung von Mindesthandelskapazitäten	113
3.4.6 Elimination redundanter Netznebenbedingungen	115

3.4.7	Validierung der Parameter des flussbasierten Kapazitätsmodells	120
3.5	Modul zur Simulation der Engpassbehebung	121
3.5.1	Eingriffsmaßnahmen zur Engpassbehebung	122
3.5.2	Ermittlung der Flexibilitätspotenziale	122
3.5.3	Mathematische Formulierung des Optimierungsproblems	126
4	Modellverifikation	135
4.1	Backtesting für das historische Jahr 2016	136
4.1.1	Eingangsdaten	136
4.1.2	Simulationsergebnisse des Backtestings für 2016	139
4.1.3	Ergebnisdiskussion und Zwischenfazit	145
4.2	Einfluss netzoptimierender Maßnahmen auf die Netzbelaustung	146
4.2.1	Szenariorahmen und Marktsimulationsergebnisse	147
4.2.2	Übertragungsnetzmodell und Netzausbauzustand	149
4.2.3	Untersuchungsprogramm zu netzoptimierenden Maßnahmen	150
4.2.4	Simulationsergebnisse der Netzbetriebsplanungskonzepte	151
4.2.5	Ergebnisdiskussion und Zwischenfazit	157
4.3	Gesamtfazit zur Modellverifikation	158
5	Fallstudie: Systemintegration der Strom-zu-Gas-Technologie	159
5.1	Energiewirtschaftlicher Szenariorahmen	159
5.1.1	Markt- und netzseitige Rahmenbedingungen	160
5.2	Untersuchungsprogramm	161
5.2.1	Regionalisierung von Strom-zu-Gas-Anlagen	165
5.2.2	Strom-zu-Gas-Anlagen als unflexible Großverbraucher	169
5.2.3	Netzseitige Systemintegration	174
5.2.4	Markt- und netzseitige Systemintegration	177
5.2.5	Alternatives Marktdesign zur Systemintegration	183
5.3	Fazit zu Systemintegrationskonzepten	190
6	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick	193
6.1	Zusammenfassung	193
6.2	Diskussion	196
6.3	Ausblick	197
Literaturverzeichnis		199
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis		219
Anhang A: Wissenschaftlicher Tätigkeitsnachweis		229
Anhang B: Lebenslauf		235