

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen	V
1 Einleitung	1
1.1 Entwicklung des europäischen Systems für leitungsgebundene Energieträger	1
1.2 Fragestellungen und Lösungsansatz	3
1.3 Stand der Forschung	4
1.4 Ziel und Aufbau der Arbeit	6
2 Analyse	9
2.1 Überblick	9
2.2 Märkte für Erdgas	10
2.3 Märkte für Strom	14
2.4 Emissionshandel	16
2.5 Komponenten des Erdgassystems	18
2.5.1 Erdgasförderung und Biogas	18
2.5.2 Erdgasspeicher	25
2.5.3 Erdgastransport	29
2.5.4 Erdgasnachfrage	33
2.6 Komponenten des Stromsystems	35
2.6.1 Stromerzeugung	36

2.6.2	Stromspeicher	42
2.6.3	Stromtransport	43
2.6.4	Stromnachfrage	45
2.7	Kopplungselemente zwischen Erdgas- und Stromsystem	48
2.7.1	Erdgasgefeuerte Stromerzeugungsanlagen	48
2.7.2	Power-to-Gas-Anlagen	49
2.8	Ableitungen aus der Analyse der Komponenten	54
2.8.1	Flexibilitäts- und Speicherbedarf im Stromsystem	55
2.8.2	Auswirkungen einer großtechnischen Kopplung auf das Erdgas- und Stromsystem	57
2.8.3	Räumlicher Betrachtungsbereich	57
2.8.4	Zeitlicher Betrachtungsbereich	58
3	Modellbildung	61
3.1	Überblick und Modellierungsansatz	61
3.2	Freiheitsgrade	63
3.3	Zielfunktion	64
3.4	Nebenbedingungen	67
3.4.1	Nachfragedeckung und Regelleistungsvorhaltung	67
3.4.2	Transportrestriktionen	70
3.4.3	Restriktionen von Stromerzeugungsanlagen	71
3.4.4	KWK-Restriktionen	73
3.4.5	DSM-Restriktionen	74
3.4.6	Restriktionen für den Erdgasbezug	75
3.4.7	Erdgasspeicherrestriktionen	76
3.4.8	Restriktionen von PtG-Anlagen	77
3.4.9	CO ₂ -Mengenbedingungen	79
4	Simulationsverfahren	81
4.1	Überblick	81
4.2	Reduktion der Problemkomplexität	84

4.3	Dekompositionsansatz	85
4.3.1	Mehrstufige Optimierung	85
4.3.2	Lagrange-Relaxation- und -Dekomposition	88
5	Exemplarische Untersuchungen	93
5.1	Backtesting-Rechnung des Jahres 2013	94
5.1.1	Eingangsdaten Erdgassystem	94
5.1.2	Eingangsdaten Stromsystem	96
5.1.3	Mengengerüst des betrachteten Systems	97
5.1.4	Ergebnisse	97
5.1.5	Bewertung	102
5.2	Zukunftsszenarien für das Jahr 2050	103
5.2.1	Eingangsdaten Erdgassystem	103
5.2.2	Eingangsdaten Stromsystem	106
5.2.3	Eingangsdaten von CO ₂ - und H ₂ -Begrenzungen	110
5.2.4	Mengengerüst des betrachteten Systems	110
5.2.5	Ergebnisse Basisszenario	111
5.2.6	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen	120
5.2.7	Bewertung	120
6	Zusammenfassung	123
7	Literaturverzeichnis	127
8	Abbildungsverzeichnis	149
A	Anhang	153
A.1	Stromübertragungskapazitäten 2050	153
A.2	DSM-Potenziale	154
A.3	Lebenslauf	155