



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis..... | XI |
| Abbildungsverzeichnis..... | XV |
| Tabellenverzeichnis..... | XIX |
| Formelzeichen..... | XX |
| Glossar..... | XXIV |
| Kurzfassung..... | XXIX |
| Abstract..... | XXX |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Motivation..... | 5 |
| 2.1 Stand der Forschung..... | 5 |
| 2.2 Aktuelle Praxis..... | 8 |
| 2.3 Erkenntnisgewinn..... | 11 |
| 3 Grundlagen des Gastransports..... | 13 |
| 3.1 Gasproduktion und -vorkommen..... | 13 |
| 3.1.1 Konventionelle und unkonventionelle Vorkommen..... | 14 |
| 3.1.2 Weitere Gasquellen..... | 15 |
| 3.2 Transport und Speicherung..... | 16 |
| 3.2.1 Leitungsgebundener Gastransport..... | 17 |
| 3.2.2 Gastransport per Schiff..... | 19 |
| 3.2.3 Speicherung..... | 21 |
| 3.3 Versorgung Europas und Deutschlands..... | 23 |
| 3.3.1 Energiemix und Bezugsquellen..... | 23 |
| 3.3.2 Deutsches Erdgasnetz..... | 25 |
| 3.3.3 Geopolitik..... | 27 |
| 4 Politische Rahmenbedingungen..... | 29 |
| 4.1 Liberalisierung und Regulierung..... | 29 |
| 4.1.1 Behörden, Organe und Interessenvertretungen..... | 29 |
| 4.1.2 Chronologie der Regulierung..... | 32 |
| 4.2 Detailbetrachtung des Regulierungsrahmens..... | 42 |
| 4.2.1 Unternehmensentflechtung..... | 42 |
| 4.2.2 Kapazitäten..... | 44 |
| 4.2.3 Entry-Exit-Modell und freie Zuordenbarkeit..... | 46 |
| 4.2.4 Interne Bestellung und Kapazitätsfreihaltungen..... | 47 |
| 4.2.5 Versorgungssicherheit..... | 47 |
| 4.2.6 Netzentwicklungsplanung..... | 50 |
| 4.3 Deutsche Energie- und Umweltpolitik..... | 50 |
| 4.3.1 Energiegesetzgebung und Energiewende..... | 51 |



| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.2 | Wesentliche Einflussfaktoren mit Auswirkungen auf den heutigen und zukünftigen Gastransport..... | 52 |
| 5 | Grundlagen der Netzberechnung | 55 |
| 5.1 | Gaseigenschaften | 55 |
| 5.1.1 | Gaszusammensetzung und Brennwert | 55 |
| 5.1.2 | Ideales und reales Gasverhalten | 57 |
| 5.1.3 | Thermodynamische Gleichungen | 62 |
| 5.2 | Beschreibung von Netzelementen | 65 |
| 5.2.1 | Leitungen | 65 |
| 5.2.2 | Knoten..... | 70 |
| 5.2.3 | Anlagen und Armaturen | 71 |
| 5.2.4 | Widerstände..... | 72 |
| 5.2.5 | Speicher..... | 73 |
| 5.2.6 | Verdichter..... | 76 |
| 5.2.7 | Verdichterstationen..... | 83 |
| 5.3 | Simulation..... | 86 |
| 6 | Methodisches Vorgehen zur Erstellung des Berechnungsmodells..... | 91 |
| 7 | Topologiemodell..... | 97 |
| 7.1 | Leitungen und Leitungsknoten | 97 |
| 7.1.1 | Datenverfügbarkeit | 97 |
| 7.1.2 | Ergänzende Annahmen | 98 |
| 7.1.3 | Datenauswertung..... | 100 |
| 7.2 | Ein- und Ausspeisepunkte | 100 |
| 7.2.1 | Datenverfügbarkeit | 100 |
| 7.2.2 | Ergänzende Annahmen | 101 |
| 7.2.3 | Datenauswertung..... | 103 |
| 7.3 | Vor- und nachgelagerte Infrastruktur | 104 |
| 7.3.1 | Datenverfügbarkeit | 104 |
| 7.3.2 | Ergänzende Annahmen | 105 |
| 7.3.3 | Datenauswertung..... | 106 |
| 7.4 | Verdichterstationen | 108 |
| 7.4.1 | Datenverfügbarkeit | 108 |
| 7.4.2 | Ergänzende Annahmen | 109 |
| 7.4.3 | Datenauswertung..... | 112 |
| 7.5 | Anlagen und Armaturen | 113 |
| 7.5.1 | Datenverfügbarkeit | 113 |
| 7.5.2 | Ergänzende Annahmen | 113 |
| 7.5.3 | Datenauswertung..... | 114 |
| 7.6 | H-Gas-Netzmodell auf Basis allgemein zugänglicher Informationen... | 115 |
| 7.7 | Kritische Würdigung des Topologiemodells | 118 |



| | | |
|-----------|---|------------|
| 8 | Szenarienmodell..... | 121 |
| 8.1 | Temperaturdaten..... | 121 |
| 8.1.1 | Tagestemperaturmessdaten des Deutschen Wetterdienstes | 121 |
| 8.1.2 | Klimazonen und Norm-Auslegungstemperaturen..... | 122 |
| 8.1.3 | Korrelationen zur mittleren deutschen Tagestemperatur | 125 |
| 8.1.4 | Zuordnung der Letztverbraucher zu den NATZ..... | 128 |
| 8.1.5 | Zuordnung der Temperaturdaten mittels Datum | 129 |
| 8.2 | Buchungen und Flusswerte..... | 130 |
| 8.2.1 | Datenverfügbarkeit | 130 |
| 8.2.2 | Annahmen und Korrekturen..... | 131 |
| 8.2.3 | Datenauswertung..... | 135 |
| 8.3 | Maximalflusswerte für Ein- und Ausspeisepunkte | 144 |
| 8.3.1 | Datenverfügbarkeit | 144 |
| 8.3.2 | Ergänzende Annahmen | 146 |
| 8.3.3 | Datenauswertung..... | 147 |
| 8.4 | Rekonstruktion der Netzsituation im Februar 2012..... | 149 |
| 8.4.1 | Datenverfügbarkeit | 149 |
| 8.4.2 | Ergänzende Annahmen | 151 |
| 8.4.3 | Datenauswertung..... | 152 |
| 8.5 | Herleitung des Szenariengerüsts | 157 |
| 8.5.1 | Datenverfügbarkeit | 157 |
| 8.5.2 | Annahmen und Korrekturen..... | 157 |
| 8.5.3 | Datenauswertung..... | 158 |
| 8.6 | Auswahl der Szenarien | 173 |
| 8.6.1 | Festlegung der Temperaturen für die Basisszenarien..... | 174 |
| 8.6.2 | Umgang mit Hybridpunkten in den Basisszenarien..... | 176 |
| 8.6.3 | Versorgungssicherheitsszenarien..... | 177 |
| 8.7 | Kritische Würdigung des Szenarienmodells..... | 177 |
| 9 | Steuerungsmodell | 181 |
| 9.1 | Aussteuerung der Szenarien..... | 182 |
| 9.1.1 | Allgemeine Grundsätze | 182 |
| 9.1.2 | Einstellungen aktiver Elemente | 183 |
| 9.1.3 | Fahrwege von Elementgruppen..... | 184 |
| 9.2 | Kriterien zur Nutzung von Steuerungsplänen | 185 |
| 9.2.1 | Nutzung bestehender Steuerungspläne für das Gesamtnetz..... | 186 |
| 9.2.2 | Erstellung zusätzlicher Steuerungspläne | 187 |
| 9.3 | Interpretation der Ergebnisse..... | 188 |
| 9.4 | Kritische Würdigung des Steuerungsmodells | 188 |
| 10 | Auswertung..... | 191 |
| 10.1 | Basisszenarien..... | 198 |
| 10.2 | Versorgungssicherheitsszenarien | 218 |
| 10.2.1 | Ausfall der Verdichterstation Mallnow | 218 |



| | | |
|---------------|---|------------|
| 10.2.2 | Ausfall der Verdichterstation Radeland | 221 |
| 10.2.3 | Ausfall der Lieferungen und der Verdichterstationen Waidhaus | 222 |
| 10.2.4 | Ausfall der Verdichterstation Werne | 225 |
| 10.2.5 | Ausfall des Speichers Rehden..... | 227 |
| 10.2.6 | Ausfall norwegischer Lieferungen..... | 227 |
| 10.2.7 | Ausfall russischer Lieferungen..... | 227 |
| 10.3 | Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen..... | 233 |
| 11 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 239 |
| 12 | Literaturverzeichnis | 245 |
| Anhang | | 275 |
| 12.1 | Verdichterstationen und Maschinenleistungen | 275 |
| 12.2 | Daten der Untergrundgasspeicher | 280 |
| 12.3 | Spitzenlastflüsse Anfang Februar 2012 und Maximalpotentiale des L-Gas-Fernleitungsnetzes | 285 |
| 12.4 | Spitzenlastflüsse Anfang Februar 2012 und Maximalpotentiale des H-Gas-Fernleitungsnetzes | 287 |
| 12.5 | Relationen | 294 |
| 12.6 | Modellierte Fahrwege der Verdichterstation Krummhörn | 299 |
| 12.7 | Kombinatorik eines Reglerkreuzes | 302 |
| 12.8 | Leitungskapazität | 303 |