



Multiregionales Energiesystemmodell mit Fokus auf Infrastrukturen

Theresa Martina Groß

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 604

ISBN 978-3-95806-681-6

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3)

Multiregionales Energiesystemmodell mit Fokus auf Infrastrukturen

Theresa Martina Groß

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 604

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-681-6

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xviii
Abkürzungsverzeichnis	xix
1. Einleitung	1
1.1. Motivation und Zielsetzung	1
1.2. Neuigkeitswert der Arbeit	2
1.3. Aufbau der Arbeit	3
2. Hintergrund und Literaturüberblick	5
2.1. Hintergrund und Methoden der Energiesystemanalyse	5
2.1.1. Methoden der Modellierung	6
2.1.2. Optimierung von räumlich und zeitlich aufgelösten Energiesystemmodellen	9
2.1.3. Zeitliche und räumliche Entfaltung von Eingangsdaten	11
2.1.4. Methoden zur Komplexitätsreduktion	14
2.2. Energieversorgung in Deutschland	18
2.2.1. Energielandschaft der Gegenwart	19
2.2.2. Energielandschaft der Zukunft	24
2.3. Infrastrukturen der Energieversorgung	33
2.3.1. Strom	34
2.3.2. Modellannahmen zur Abbildung des Stromsektors aus der Literatur	38
2.3.3. Erdgas	42
2.3.4. Modellannahmen zur Abbildung des Erdgassektors aus der Literatur	44
2.3.5. Wasserstoff	46
2.3.6. Modellannahmen zur Abbildung des Wasserstoffsektors aus der Literatur	48
2.3.7. Wärme	51
2.3.8. Modellannahmen zu Abbildung des Wärmesektors aus der Literatur	53
2.4. Zusammenfassung	55
3. Methodik	57
3.1. Methodik zur räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Energiesystemoptimierung 57	
3.1.1. FINE - Framework for Integrated Energy System Assessment	58
3.1.2. Abbildung der räumlichen und zeitlichen Auflösung des Modells	60
3.2. Abbildung des interregionalen Energieaustausches	63
3.2.1. Abbildung des Stromnetzes	64

3.2.2.	Abbildung des Gasnetzes für den Transport von Erdgas und Wasserstoff	67
3.2.3.	Abbildung von Wärmenetzen	74
3.3.	Modellkopplung	75
3.3.1.	Regionalisierung der Endenergienachfragen	77
3.3.2.	Regionalisierung der Erzeugung	82
3.4.	Zusammenfassung	85
4.	Modellbeschreibung: FINE.Infrastructure	87
4.1.	Rahmenbedingungen	87
4.1.1.	Räumliche und zeitliche Auflösung	87
4.1.2.	Abbildung des Bestands	88
4.2.	Modellierte Energie- und Massenflüsse in FINE.Infrastructure	89
4.2.1.	Modellierte Nachfragen	90
4.2.2.	Modellierte Im- und Exporte	97
4.2.3.	Berücksichtigung von CO ₂ -Emissionen	101
4.3.	Modellierte Energieinfrastrukturen in FINE.Infrastructure	102
4.3.1.	Quellen	102
4.3.2.	Senken	110
4.3.3.	Umwandlung	110
4.3.4.	Speicherung	112
4.3.5.	Übertragung	116
4.4.	Zusammenfassung	116
5.	Szenarienanalyse: Auswertung und Diskussion	119
5.1.	Kurzfristige Entwicklung: Referenzszenario 2030	121
5.1.1.	Verteilung der jährlichen Gesamtkosten	122
5.1.2.	Stromerzeugung	122
5.1.3.	Wasserstoffbereitstellung	127
5.1.4.	Erdgasbereitstellung	130
5.1.5.	Fernwärmebereitstellung	130
5.1.6.	Nutzung von Speichertechnologien	131
5.1.7.	Auslastung der leitungsgebundenen Infrastrukturen	134
5.1.8.	CO ₂ -Emissionen	136
5.1.9.	Exkurs: Gasnetz und Gasimporte	136
5.2.	Langfristige Entwicklung: Referenzszenario 2050	139
5.2.1.	Verteilung der jährlichen Gesamtkosten	139
5.2.2.	Stromerzeugung	140
5.2.3.	Wasserstoffbereitstellung	144
5.2.4.	Erdgasbereitstellung	146
5.2.5.	Fernwärmebereitstellung	147
5.2.6.	Nutzung von Speichertechnologien	147
5.2.7.	Auslastung der leitungsgebundenen Infrastrukturen	150
5.3.	Freie Optimierung	152
5.3.1.	Freie Optimierung des Jahres 2030	152
5.3.2.	Freie Optimierung des Jahres 2050	154
5.3.3.	Vergleich zum Referenzszenario	156
5.4.	Auswirkungen verschiedener Strategien zur Umstellung von Erdgaspipelines auf Wasserstofftransport	157
5.5.	Variation der Anbindungskonzepte von Offshore-Windparks	161

5.6. Variation des Wasserstoffimports	166
5.7. Diskussion	169
5.7.1. Diskussion der zeitlichen Repräsentation	170
5.7.2. Diskussion der freien Optimierung	172
5.8. Schlussfolgerungen	174
5.8.1. Stromnetz	174
5.8.2. Erdgasnetz	175
5.8.3. Wasserstoffnetz	176
5.8.4. Wärmenetz	177
6. Zusammenfassung	179
6.1. Ziel der Arbeit	179
6.2. Methodik	179
6.3. Ergebnisse aus der Szenarienanalyse	180
Anhang A. Techno-ökonomische Annahmen	185
A.1. Emissionsfaktoren	185
A.2. Source-Komponenten	185
A.3. Conversion-Komponenten	186
A.4. Storage-Komponenten	188
A.5. Transmission-Komponenten	190
Anhang B. Methodik	193
B.1. Kostenabschätzung für Gasinfrastrukturen	193
B.2. Verteilschlüssel	195
B.3. Nachfrageprofile aus NESTOR	196
B.3.1. Stromnachfrage	196
B.3.2. Erdgasnachfragen	198
B.3.3. Wasserstoffnachfragen	200
B.3.4. Fernwärmeforderungen	202
Anhang C. Szenarienanalyse	205
C.1. Basisszenario NESTOR: REF95	205
C.2. Referenzszenario 2030	206
C.3. Referenzszenario 2050	207
C.4. Auswirkungen verschiedener Strategien zur Umstellung von Erdgaspipelines auf Wasserstofftransport	208
C.5. Diskussion	210
Literaturverzeichnis	215

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 604
ISBN 978-3-95806-681-6