



## Modellgestützte Analyse kosteneffizienter CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategien

Peter Marco Lopion

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 506

ISBN 978-3-95806-493-5

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

# **Modellgestützte Analyse kosteneffizienter CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategien**

Peter Marco Lopion

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

Band / Volume 506

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-493-5

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	I
Abstract .....	III
Inhaltsverzeichnis .....	V
Abkürzungsverzeichnis .....	IX
Symbolverzeichnis .....	XIII
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation.....	2
1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit .....	3
2 Stand der nationalen Energiesystemmodellierung.....	7
2.1 Nationale Energiesystemmodellierung .....	7
2.1.1 Charakterisierung von Energiesystemmodellen.....	7
2.1.2 Nationale Energiesystemmodelle .....	12
2.2 Energieszenarien für Deutschland.....	18
2.3 Zusammenfassung und Fazit .....	28
3 Grundlagen der Energieversorgung .....	31
3.1 Rahmenbedingungen .....	31
3.2 Energiesektor .....	39
3.2.1 Struktur des Energiesektors .....	39
3.2.2 Konventionelle Kraftwerke.....	43
3.2.3 Erneuerbarer Energien.....	45
3.2.4 Energiespeichertechnologien und Power-to-X.....	51
3.2.5 Modellimplementierung .....	53
3.3 Gebäudesektor.....	54
3.3.1 Struktur des Gebäudesektors .....	54
3.3.2 Aggregierte Nachfrageprofile.....	56
3.3.3 Dezentrale Strom- und Wärmeversorgung .....	60
3.3.4 Elektrogeräteausstattung und Sanierungsoptionen .....	62
3.3.5 Modellimplementierung .....	64
3.4 Industriesektor.....	65
3.4.1 Struktur des Industriesektors.....	66
3.4.2 Aggregierte Energienachfrage.....	68
3.4.3 Industrieprozesse und Prozessenergiebereitstellung.....	69
3.4.4 Modellimplementierung .....	71

---

3.5 Verkehrssektor .....	72
3.5.1 Struktur des Verkehrssektors.....	72
3.5.2 Aggregierte Nachfrageprofile .....	73
3.5.3 Alternative Antriebe und Kraftstoffe .....	75
3.5.4 Modellimplementierung.....	76
3.6 Zusammenfassung .....	77
4 Methodischer Modellierungsansatz.....	79
4.1 Modellbeschreibung.....	79
4.1.1 Mathematischer Ansatz und Systemgrenzen .....	79
4.1.2 Modellvalidierung.....	83
4.2 Kostenunsicherheiten .....	85
4.2.1 Investitionskostenanalyse .....	86
4.2.2 Analytischer und mathematischer Ansatz .....	87
4.2.3 Validierung des Ansatzes .....	89
4.2.4 Diskussion .....	92
4.3 Transformationspfadanalyse.....	93
4.3.1 Konzeptionierung.....	93
4.3.2 Bestandsentwicklung und Marktdurchdringungseffekte .....	98
4.3.3 Diskussion .....	101
4.4 Versorgungsinfrastrukturen.....	103
4.5 Synthetische kalte Dunkelflaute .....	108
4.6 Zusammenfassung .....	110
5 Auswertung der CO <sub>2</sub> -Reduktionsstrategien.....	113
5.1 Referenzszenarien: 80% und 95% CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	113
5.1.1 Gesamtsystem.....	114
5.1.2 Energiesektor .....	120
5.1.3 Gebäudesektor .....	132
5.1.4 Industrie- und Gewerbesektor.....	137
5.1.5 Verkehrssektor .....	142
5.1.6 Einordnung in die Literatur.....	149
5.1.7 Zusammenfassung und Diskussion .....	155
5.2 Sensitivitätsanalyse .....	158
5.2.1 Zeitreihenaggregation.....	158
5.2.2 Investitionskostenabbildung.....	161
5.2.3 Infrastrukturaspekte .....	163
5.2.4 Energieimporte und -exporte .....	164

## Inhaltsverzeichnis

---

5.2.5 Synthetische Dunkelflaute .....	168
5.2.6 Sensitivitätsanalyse des CO <sub>2</sub> -Reduktionsziels.....	169
5.2.7 Zusammenfassung und Diskussion.....	172
6 Zusammenfassung.....	175
Anhang .....	181
A Modellübersicht .....	181
B Modelleingangsdaten .....	189
C Techno-ökonomische Annahmen .....	197
D Zeitreihen .....	213
E Validierung der quadratischen Optimierung.....	219
F Detailergebnisse zu Kapitel 5.1 .....	221
G Sensitivitätsanalyse zu Eingangsparametern .....	225
Abbildungsverzeichnis .....	227
Tabellenverzeichnis .....	239
Literaturverzeichnis.....	243

Energie & Umwelt / Energy & Environment  
Band / Volume 506  
ISBN 978-3-95806-493-5

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

