



Einflüsse von Klimavariabilität und -wandel auf Ausbau und Erzeugung im Europäischen Stromsystem

Fabian Paul Gotzens

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 531

ISBN 978-3-95806-530-7

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

 **JÜLICH**
Forschungszentrum

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)

Einflüsse von Klimavariabilität und -wandel auf Ausbau und Erzeugung im Europäischen Stromsystem

Fabian Paul Gotzens

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

Band / Volume 531

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-530-7

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	V
Symbole und Einheiten	XI
Abkürzungen	XIII
Glossar	XVII
Abbildungsverzeichnis	XIX
Tabellenverzeichnis	XXIII
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Energieszenarien	5
2.2 Modellbasierte Analyse von Energiesystemen	6
2.2.1 Energiesystemmodelle	8
2.2.2 Erzeugungsausbauplanungen	9
2.2.3 Raumplanungsmodelle	9
2.2.4 Einsatzsimulationen	10
2.2.5 Netzsimulationen	10
2.3 Klimasimulationsmodelle	11
2.4 Stand der Wissenschaft	16
3 Modellbildung	19
3.1 Geographischer Betrachtungsbereich	20
3.2 Zeitlicher Horizont	21
3.3 Europäischer Kraftwerkspark	22
3.3.1 Konventioneller Kraftwerkspark im Startjahr	24

3.3.2	Erweiterung um anlagenscharfe Erneuerbare Energien	28
3.3.3	Heuristik zur Kohortenabschätzung aus Kapazitätsstatistiken	30
3.3.4	Validierung des Ansatzes	33
3.3.5	Integration der Datenbank ins Modell	33
3.4	Zubauoptionen	36
3.4.1	Geographische Potenziale der Erneuerbaren Energien	36
3.4.2	Zubau von Bioenergie	40
3.4.3	Zeitliche Aspekte des Zubaus von Erzeugungskapazität	41
3.4.4	Politische Aspekte des Zubaus von Erzeugungskapazität	43
3.5	Einspeisezeitreihen	44
3.5.1	Herleitung und Verzerrungskorrektur der Zeitreihen	45
3.5.2	Sonderfälle	47
3.6	Jährliche Elektrizitätsnachfragen	49
3.7	Lastverläufe	52
3.7.1	Bereinigung realer Lastzeitreihen	52
3.7.2	Validierung der Lastverläufe	59
3.7.3	Ableitung zeitlicher Verteilungsschlüssel	60
3.8	Unterjährige zeitliche Auflösung	60
3.8.1	Analyse der zu aggregierenden Zeitreihen	61
3.8.2	Methodik der Zeitreihenaggregation	63
3.8.3	Auswahl einer Auflösung	66
3.9	Parametrierung der Speicher	66
3.10	Grenzübergreifende Stromaustausche	68
3.10.1	Modellinterne Austausche	69
3.10.2	Modellexterne Austausche	69
3.11	Ökonomische Parameter	70
3.11.1	Primärenergieträger- und Zertifikatspreise	70
3.11.2	Investitions-, Betriebs- und Rückbaukosten	71
3.11.3	Angenommene Zinssätze	73
3.12	Physikalisch-technische Parameter	74
3.12.1	Verfügbarkeitsfaktoren	74
3.12.2	Wirkungsgrade	76
3.12.3	CO ₂ -Emissionsfaktoren	76
3.12.4	Kraftwerksrestriktionen	79
3.13	Kalibrierung des entwickelten Modells	79
3.14	Kritische Würdigung des entwickelten Modells	82

4	Methodik zur Integration von Klimavariabilität und -wandel	85
4.1	Integration von Klimavariabilität	85
4.2	Integration von Klimawandel	87
4.2.1	Heuristik zur Herleitung einstündig aufgelöster Zeitreihen	88
4.2.2	Plausibilisierung der Heuristik	89
4.2.3	Einfluss der Außentemperatur auf die Last	90
4.2.4	Ableitung von Windzeitreihen	102
4.3	Kritische Würdigung der Integrationsmethodik	106
5	Ergebnisse	109
5.1	Auswahl einer unterjährigen Auflösung	110
5.2	Einflüsse von Klimavariabilität	113
5.2.1	Referenzszenario Klimavariabilität	113
5.2.2	Quantifizierung des Einflusses von Klimavariabilität	131
5.3	Einflüsse von Klimawandel	137
5.3.1	Referenzszenario Klimawandel	137
5.3.2	Quantifizierung des Einflusses von Klimawandel	138
6	Zusammenfassung	153
6.1	Interpretation der Ergebnisse	153
6.2	Handlungsempfehlungen	160
6.3	Fazit	161
6.4	Ausblick	164
	Literatur	166
	A Tabellen	191
	B Abbildungen	207

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 531
ISBN 978-3-95806-530-7