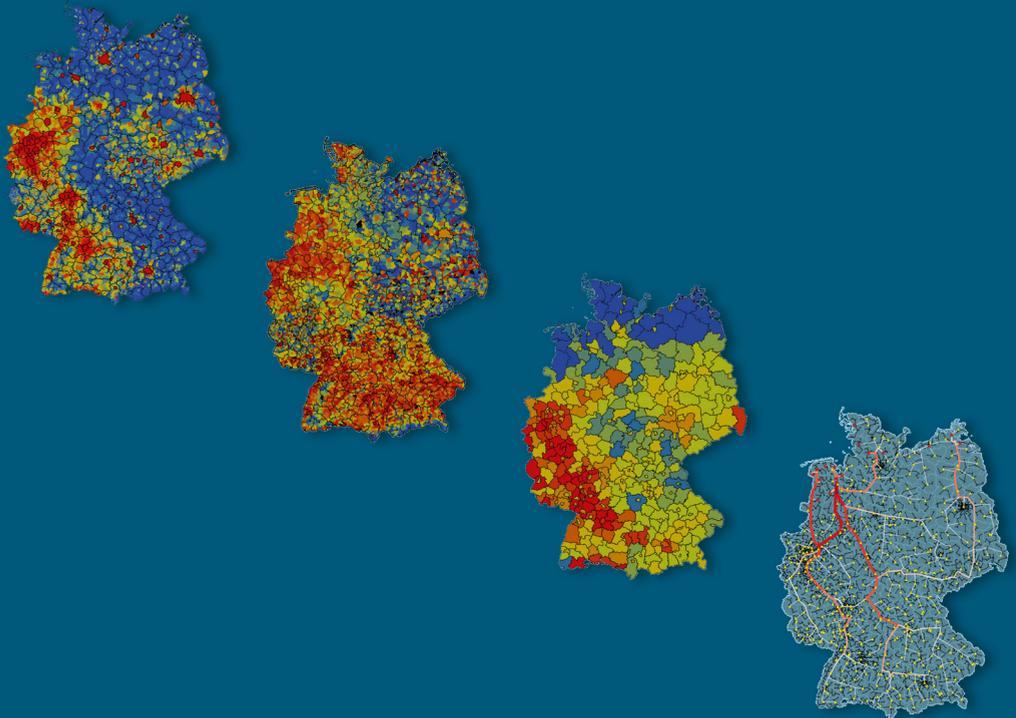


Strom- und Gasmarktdesign zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff

Martin Robinius



**Energie & Umwelt/
Energy & Environment
Band/ Volume 300
ISBN 978-3-95806-110-1**

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

Strom- und Gasmarktdesign zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff

Martin Robinius

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

Band / Volume 300

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-110-1

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	5
2	Strommarkt	7
2.1	Die Entwicklung des deutschen Stromsektors	7
2.2	Das aktuelle Strommarktdesign in Deutschland	8
2.3	Spotmärkte	14
2.3.1	Day-Ahead-Markt	16
2.3.2	Intraday-Markt	17
2.3.3	Implikationen für das Strom- und Gasmarktdesign	18
2.4	Die Regelenenergiemärkte	19
2.4.1	Schwungmassen und Primärregelung	22
2.4.2	Sekundärregelung	24
2.4.3	Minutenreserve	25
2.4.4	Abschaltbare Lasten	26
2.4.5	Zukünftige Entwicklungen der Regelenergie	26
2.4.6	Implikationen für das Strom- und Gasmarktdesign	26
2.5	Alternative Marktkonzepte	28
2.5.1	Kapazitätsmarkt	28
2.5.2	Netzengpassmanagement	31
2.5.3	Implikationen für das Strom- und Gasmarktdesign	34
2.6	Abgrenzung der Strommarktanalyse	35
2.7	Diskussion der Strommarktanalyse	38
3	Gasmarkt	41
3.1	Wasserstoffmarkt	41
3.1.1	Beschreibung des Wasserstoffmarktes	41
3.1.2	Technische Komponenten für einen Wasserstoffmarkt	44
3.1.3	Implikationen für das Strom- und Gasmarktdesign	46
3.2	Erdgasmarkt als Vergleichsmarkt	46

3.2.1	Die Entwicklung des deutschen Erdgassektors	46
3.2.2	Netzzugangsmodelle für ein Pipelinenetz	49
3.2.3	Implikationen für das Strom- und Gasmarktdesign	51
3.3	Diskussion der Gasmarktanalyse	52
4	Share- und Stakeholder-Analysen	55
4.1	Definition von Share- und Stakeholdern	55
4.2	Finanzierung von Infrastrukturen	56
4.3	Share- und Stakeholder mit Wissensvorsprung	58
4.4	Share- und Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette	61
4.4.1	Eigenkapitalzinsen ausgewählter Share- und Stakeholder	61
4.4.2	Umsatzerlöse und Operatives Ergebnis	64
4.5	Diskussion der Share- und Stakeholder-Analysen	66
5	Modellierung des Stromsektors und Gassektors	69
5.1	Aktueller Stand und Forschungsbedarf	69
5.2	Modell- und Systembeschreibung	72
5.3	Stromsektor	76
5.3.1	Lastmodell	76
5.3.2	Onshore-Wind	79
5.3.3	Offshore-Wind	86
5.3.4	Photovoltaik	88
5.3.5	Wasserkraft	91
5.3.6	Biomasse	92
5.3.7	Im- und Export	94
5.3.8	Konventioneller Kraftwerkspark	96
5.3.9	Stromnetz	97
5.4	Gassektor	99
5.4.1	Wasserstoffverbrauch in den Landkreisen	99
5.4.2	Wasserstoffpipeline	102
5.4.3	Entry-Exit-Entgelte	103
5.5	Diskussion der Modellierung	104
6	Energiekonzept	107
6.1	Beschreibung Energiekonzept	107

6.2	Analyse der Residualenergie	110
6.2.1	Bilanzielle Analyse der Residualenergie	110
6.2.2	Örtliche und zeitliche Analyse der Residualenergie	112
6.3	Analyse der Strompreise und Stromgestehungskosten	119
6.3.1	Stromgestehungskosten der Windenergie onshore	120
6.3.2	Örtliche und zeitliche Analyse der zonalen Preise	123
6.4	Analyse der Landkreise mit einer Wasserstoffproduktion	127
6.4.1	Lokalisierung und Quantifizierung	127
6.4.2	Preisanalyse der Wind onshore Stromgestehungskosten	130
6.4.3	Preisanalyse des Zonalen-Modells	132
6.5	Wasserstoffpipeline für das Energiekonzept	135
6.5.1	Berechnung der Wasserstoffpipeline	135
6.5.2	Analyse der Wasserstoffpipeline	136
6.5.3	Berechnung der Entry-Exit-Entgelte	137
6.5.4	Analyse der Entry-Exit-Entgelte	138
6.6	Vor-Steuer-Wasserstoffgestehungskosten	142
6.7	Diskussion des Energiekonzeptes	146
7	Monte-Carlo-Simulation	151
7.1	Theoretische Einordnung	151
7.2	Modell zur Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten	153
7.2.1	Verteilungen auf Grundlage von Histogrammen	154
7.2.2	Verteilungen auf Grundlage von Literaturwerten	156
7.3	Analyse der Monte-Carlo-Simulation	159
7.3.1	Wasserstoffgestehungskosten am Elektrolyseur	160
7.3.2	Wasserstoffgestehungskosten an der Tankstelle	163
7.3.3	Wasserstoffgestehungskosten im Vergleich	167
7.4	Diskussion der Monte-Carlo-Simulation	168
8	Literaturabgleich	171
8.1	Szenariovergleich	172
8.2	Ergebnisvergleich	176
8.2.1	Wasserstoffquellen	176
8.2.2	Wasserstoffsinken	177

9	Zusammenfassung	181
	Anhang	187
A	Beispiele – diverse Kapitel	187
B	Entwicklung des Stromsektors vor 1900 – Anhang zu Kapitel 2.1	189
C	Preise und Volumen des Day-Ahead-Marktes – Anhang zu Kapitel 2.3.1	190
D	Preise und Volumen des Intraday-Marktes – Anhang zu Kapitel 2.3.2 –	191
E	Produktmerkmale Regelenergie – Anhang zu Kapitel 2.4	192
F	Preis und Volumen Primärregelleistung – Anhang zu Kapitel 2.4.1	193
G	Preis und Volumen Sekundärregelleistung – Anhang zu Kapitel 2.4.2	194
H	Preis und Volumen Minutenreserve – Anhang zu Kapitel 2.4.3	195
I	Elektrolysebeschreibung – Anhang zu Kapitel 3.1.2	196
J	Share- und Stakeholder – Anhang zu Kapitel 4.3 –	199
K	Ausgewählte Unternehmen – Anhang zu Kapitel 4.4.1 und 4.4.2 –	200
L	Onshore-Windenergie Modell – Anhang zu Kapitel 5.3.2	201
M	Analyse der Defizit-Bundesländer – Anhang zu Kapitel 6.2.2 –	216
N	Entry-Exit-Entgelte – Anhang zu Kapitel 6.5 –	218
O	Überschuss-Bundesländer – Anhang zu Kapitel 7.1 –	220
P	Abbildungsverzeichnis	222
Q	Tabellenverzeichnis	232
R	Akronyme	234
S	Literaturverzeichnis	235

**Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 300
ISBN 978-3-95806-110-1**

