

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XXI</b>
<b>Formelzeichenverzeichnis</b>	<b>XXIII</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XXV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Zielsetzung .....	3
1.2 Aufbau der Arbeit .....	7
<b>2 Methodik und Rahmenbedingungen</b>	<b>9</b>
2.1 Definition des Untersuchungsrahmens .....	9
2.1.1 Elektrische Elektrizitätserzeugung im Jahr 2030 in Deutschland .....	9
2.1.2 Nutzung von Erzeugungsüberschüssen .....	12
2.2 Methodik .....	17
2.2.1 Funktionsweise der Simulationsmodule .....	18
2.2.2 Stochastische Simulation mit Oracle Crystal Ball .....	21
2.2.3 Vergleich von KEEP2030 mit anderen Strommarktmodellen .....	23
2.3 Erzeugungs- und Nachfrageganglinien im Elektrizitätssystem .....	25
2.3.1 Onshore-Windenergie .....	25
2.3.2 Offshore-Windenergie .....	27
2.3.3 Photovoltaik .....	29
2.3.4 Skalierung von Ganglinien .....	31
2.3.5 Grundlast .....	34
2.3.6 Nachfrage .....	35
2.3.7 Berechnung der Netto-Residuallast .....	36
2.4 Power-to-Gas Technologien .....	38
2.4.1 Stand der Technik der Wasserelektrolyse .....	38
2.4.1.1 Alkalische Elektrolyse .....	45
2.4.1.2 PEM-Elektrolyse .....	50
2.4.2 Stand der Technik der Methanisierung .....	58

2.4.3	Installierte Leistung der Power-to-Gas Anlagen .....	62
2.4.4	Modellierung von Power-to-Gas Anlagen .....	64
2.5	Distributionsinfrastruktur .....	66
2.5.1	Szenarioübergreifende Methodik .....	67
2.5.1.1	Geographische Verteilung der Wasserstofftankstellen .....	67
2.5.1.2	Wasserstoffnachfrage durch PKW .....	69
2.5.1.3	Kompression von Wasserstoff .....	70
2.5.2	Szenarien zur Verteilung der Power-to-Gas Anlagen .....	70
2.5.2.1	Infrastruktur im Szenario „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	71
2.5.2.2	Distributionsmodell für das Szenario „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	73
2.5.2.3	Infrastruktur in den dezentralen Szenarien .....	77
<b>3</b>	<b>Parametrierung des KEEP2030-Modells</b>	<b>79</b>
3.1	Elektrizitätssystem .....	79
3.1.1	Onshore-Windenergie .....	79
3.1.2	Offshore-Windenergie .....	81
3.1.3	Photovoltaik .....	83
3.1.4	Nachfrage .....	85
3.1.5	Grundlastkraftwerke .....	87
3.1.6	Flexibilitätsstufe .....	89
3.1.7	Flexibilitätsfaktor .....	94
3.1.8	Datenjahre .....	96
3.1.9	Monetäre Wertigkeit von Überschussstrom .....	98
3.2	Power-to-Gas-Anlagen und Distributionsinfrastrukturen .....	98
3.2.1	Elektrolyse .....	99
3.2.1.1	Technologieentwicklung bis 2030 .....	100
3.2.1.2	Ökonomie im Jahr 2030 .....	101
3.2.2	Infrastruktur im Szenario „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	103
3.2.3	Infrastruktur im Szenario „H <sub>2</sub> -Dezentral“ .....	107
3.2.4	Methanisierung .....	108
3.2.5	Infrastruktur im Szenario „SNG-Dezentral“ .....	109
3.3	Übersicht der stochastisch variierten Parameter .....	109
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Simulation und deren Analyse</b>	<b>111</b>
4.1	Ergebnisse der Elektrizitätssystemsimulation .....	111
4.1.1	Zeitliche Charakteristik der Modellzeitreihen .....	111
4.1.2	Evaluation der überschüssigen Elektrizitätsmengen .....	117

4.2 Ergebnisse zur Energiewandlung .....	122
4.2.1 Sensitivität der umgewandelten Elektrizitätsmenge .....	126
4.2.2 Ausnutzungsgrad der Netto-Überschüsse .....	128
4.3 Ergebnisse zu den resultierenden Kraftstoffkosten .....	129
4.3.1 Gesamtkostenanalyse der Infrastrukturszenarien .....	130
4.3.2 Zusammensetzung der Gesamtkosten im Szenario „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	132
4.3.3 Spezifische Kosten des Systems „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	136
4.3.4 Kraftstoffkosten frei Tankstelle im Szenario „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	142
4.4 Markteinführungsstrategien und Ausblick .....	147
4.5 Evaluation der Ergebnisse .....	152
<b>5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>159</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>167</b>
<b>Anhang</b>	<b>193</b>
A.1 Berechnung der normierten Ganglinie für Offshore-Wind .....	193
A.2 Validierung des Berechnungsverfahrens der Offshore-Ganglinie .....	202
A.3 Skalierung von Einspeisezeitreihen .....	206
A.4 Detailspekte der Infrastruktur im Szenario „H <sub>2</sub> -Zentral“ .....	208
A.5 Verfügbarkeit von Kurzzeitstromspeichern im KEEP2030-Modell .....	219
A.6 Bestimmung der Mindestlaufzeit von PtG-Anlagen .....	222
A.7 Herleitung der maximalen Transportdistanz .....	223
A.8 Analyse der Szenarien mit maximalen spezifischen Transportkosten .....	226