

INHALT

Vorwort	VII
Ergebnisse auf einen Blick	IX
Inhalt	XV
Abkürzungen	XVIII
Zusammenfassung.....	1
1. Einführung.....	7
2. Energiesystemanalysen.....	11
2.1 Ansatz.....	11
2.2 Ergebnisse	13
2.3 Einordnung	16
3. Wasserstofferzeugung.....	17
3.1 Energiewirtschaftsrechtlicher Rahmen der Wasserstofferzeugung	17
3.1.1 Anforderungen an Wasserstoff in den Wasserstoffstrategien Deutschlands und der EU	18
3.1.2 Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen, insbesondere mittels Wasserelektrolyse.....	18
3.1.3 Senkung der Treibhausgasemissionen bei der Wasserstofferzeugung	22
3.1.4 Gestaltungsspielräume der deutschen Gesetzgebung	24
3.1.5 Fazit.....	25
3.2 Einfluss des energiewirtschaftsrechtlichen Rahmens auf Wasserstoff-Geschäftsmodelle	27
3.3 Ökologische Bewertung von Wasserstofferzeugungstechnologien.....	35
3.3.1 Ökobilanz Methodik.....	35
3.3.2 Ökobilanz einer PEM-Wasserelektrolyse Anlage.....	36
3.4 Umweltanalyse multimodaler Wasserstoffsysteme	46
3.4.1 Regionale Erzeugungsschwerpunkte	48
3.4.2 Umweltwirkungen der Elektrolyse	50
3.4.3 Auswirkungen der Wasserstoffproduktion auf den Landschaftswasserhaushalt	
51	

3.4.4 Lokale Standortkriterien für die Ansiedlung von Elektrolyseuren außerhalb von Wassermangelgebieten	58
3.4.5 H ₂ -Wegweiser als Dialogtool	61
4. Wasserstoffspeicherung im Untergrund	63
4.1 Energiewirtschaftsrechtliche Aspekte der H ₂ -Untergrundspeicherung.....	63
4.1.1 Entflechtung (Unbundling) im Dekarbonisierungspaket der EU und im deutschen Recht.....	63
4.1.2 Entflechtung der Wasserstoffspeicherung.....	65
4.1.3 Entflechtung von Wasserstoffspeicherung und Erdgasspeicherung	65
4.1.4 Entflechtung von Wasserstoffspeicherung und Wasserstoff- oder Erdgasnetzbetrieb	67
4.1.5 Entflechtung der Wasserstoffspeicherung von der Gewinnung / Erzeugung und Versorgung	71
4.1.6 Fazit zur Entflechtung der Wasserstoffspeicherung.....	73
4.2 Technische Aspekte der H ₂ -Untergrundspeicherung	75
4.2.1 Einleitung.....	75
4.2.2 Untersuchung von Speicher- und Bohrungsparametern zur Eignung als H ₂ -Speicher	77
4.2.3 Technische und wirtschaftliche Kriterien zur H ₂ -Speicherung	79
4.3 Wasserstoffspeicherung in Porenspeichern	81
4.3.1 Methodik.....	81
4.3.2 Ergebnisse aus den Szenarioanalysen	86
4.3.3 Zusammenfassung zur Wasserstoffspeicherung in porösen Medien	93
4.4 Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen	95
4.4.1 Grundlegende thermomechanische Simulationen mit generischen Globalmodellen in unterschiedlichen Teufenlagen	97
4.4.2 Untersuchung zur Umrüstung von bestehenden Erdgasspeicherkavernen in Wasserstoffspeicherkavernen	103
5. Konversion von Wasserstoff über Power-to-X-Prozesse.....	111
5.1 Bedarfsanalyse für PtX-Produkte	111
5.2 Bereitstellung von CO ₂ für synthetische Kohlenwasserstoffe.....	116
5.2.1 CO ₂ -Abscheidung aus der Atmosphäre: Direct-Air-Capture-Verfahren	117
5.2.2 CO ₂ aus Biomasseanlagen	119

5.2.3 CO ₂ aus Industriellen Punktquellen	121
5.2.4 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen zur Kohlenstoff-Strategie	124
5.3 Technoökonomischer Vergleich unterschiedlicher PtX-Konversionsketten	126
5.3.1 Methodik	126
5.3.2 Technoökonomische Analyse von PtX-Prozessketten.....	128
5.4 Dynamischer Betrieb von PtX-Verfahren zur Systemstabilisierung	136
5.4.1 Dynamischer Betrieb von Elektrolyseuren	137
5.4.2 Dynamischer Betrieb von Synthesereaktoren	139
5.5 Ökobilanzielle Randbedingungen für die Wasserstoff-Konversion	141
Abbildungsverzeichnis.....	143
Tabellenverzeichnis.....	147
Literaturverzeichnis	149