

INHALT

Vorwort.....VII

Ergebnisse auf einen Blick IX

InhaltXV

Abkürzungen..... XVIII

Zusammenfassung..... 1

1. Einführung.....7

2. Energiesystemanalysen.....11

 2.1 Ansatz..... 11

 2.2 Ergebnisse 13

 2.3 Einordnung..... 16

3. Wasserstoffherzeugung.....17

 3.1 Energiewirtschaftsrechtlicher Rahmen der Wasserstoffherzeugung 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 Wasserstoffherzeugung22

 3.1.4 Gestaltungsspielräume der deutschen Gesetzgebung24

 3.1.5 Fazit.....25

 3.2 Einfluss des energiewirtschaftsrechtlichen Rahmens auf Wasserstoff-Geschäftsmodelle27

 3.3 Ökologische Bewertung von Wasserstoffherzeugungstechnologien.....35

 3.3.1 Ökobilanz Methodik.....35

 3.3.2 Ökobilanz einer PEM-Wasserelektrolyse Anlage.....36

 3.4 Umweltanalyse multimodaler Wasserstoffsysteme46

 3.4.1 Regionale Erzeugungsschwerpunkte48

 3.4.2 Umweltwirkungen der Elektrolyse50

 3.4.3 Auswirkungen der Wasserstoffproduktion auf den Landschaftswasserhaushalt

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