



Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur

Markus Eduard Reuß

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 467

ISBN 978-3-95806-414-0

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

Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur

Markus Eduard Reuß

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

Band / Volume 467

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-414-0

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	2
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	3
2	Stand der Modellierung von Wasserstoffinfrastrukturen	7
2.1	Auswahlkriterien.....	7
2.2	Überblick über Modellierungsansätze.....	8
2.2.1	Analytischer Ansatz	8
2.2.2	Mathematischer Ansatz	8
2.2.3	Zeitliche und räumliche Auflösung	9
2.3	Anwendungsübersicht.....	10
2.3.1	Systemdesign von räumlich aufgelösten Wasserstoffinfrastrukturen	10
2.3.2	Technologiemotivierte Analysen	14
2.4	Eingrenzung und Ableitung eines geeigneten Modellansatzes	17
2.5	Zusammenfassung.....	19
3	Technologien von Wasserstoffinfrastrukturen	21
3.1	Speicher Methoden zur Wasserstoffkonditionierung.....	21
3.1.1	Komprimierter gasförmiger Wasserstoff	23
3.1.2	Flüssigwasserstoff	23
3.1.3	Liquid Organic Hydrogen Carriers.....	24
3.1.4	Metallhydride	25
3.1.5	Vergleich, Diskussion und Auswahl von Speicher Methoden	25
3.2	Technologien eines Wasserstoffversorgungssystems	26
3.2.1	Wasserstoffproduktion mithilfe der Elektrolyse.....	26
3.2.2	Konditionierungstechnologien	27
3.2.3	Speicherung	33
3.2.4	Transport	36
3.2.5	Tankstellen	41
3.2.6	Technologieübersicht.....	46
3.3	Zusammenfassung.....	47
4	Modellvorstellung Supply Chain Model.....	49
4.1	Technologiemodule	49
4.2	Supply Chain Setup.....	51
4.3	Zusammenfassung.....	52
5	Abstrakte Analyse von Wasserstoffinfrastrukturen	55
5.1	Szenariodefinition.....	55
5.1.1	Ökonomische Rahmenbedingungen des Energiesystems	55

5.1.2	Technische Rahmenbedingungen.....	58
5.2	Modulweise Analyse von Wasserstoffinfrastrukturen.....	58
5.2.1	Produktion	58
5.2.2	Konditionierungstechnologien.....	59
5.2.3	Lagerung	60
5.2.4	Transport	61
5.2.5	Betankung	64
5.3	Pfadanalyse	65
5.3.1	Ergebnisse des Basisszenarios	66
5.3.2	Parametervariation.....	70
5.4	Zusammenfassung und Diskussion.....	76
6	Methoden zur Konzeption räumlich aufgelöster Infrastrukturen	79
6.1	Räumlich aufgelöste Bestimmung von Wasserstoffquellen.....	80
6.2	Räumlich aufgelöste Nachfragemodellierung und -verteilung.....	81
6.3	LKW Routenmodellierung	83
6.3.1	Modellansatz.....	84
6.3.2	Analyse verschiedener Zielgrößen zur Routenfindung.....	84
6.4	Pipelinemodellierung.....	88
6.4.1	Kandidatennetze sowie Kostenfaktoren	88
6.4.2	Ableitung geeigneter Methoden zur Topologie- und Flussbestimmung ...	90
6.4.3	Durchmesserselektion unter Berücksichtigung des Druckverlustes.....	93
6.5	Räumlich aufgelöste Bestimmung von Hubs	95
6.5.1	Pipeline-Transmission und GH ₂ -Trailer-Distribution	96
6.5.2	Pipeline-Transmission und -Distribution	97
6.6	Zusammenfassung und Diskussion.....	99
7	Räumlich aufgelöste Analyse von Wasserstoffinfrastrukturen	101
7.1	Länderauswahl.....	101
7.2	Szenariendefinition.....	104
7.2.1	Deutschland.....	105
7.2.2	Frankreich.....	106
7.2.3	Japan.....	109
7.2.4	Diskussion der Annahmen und Einordnung in die Literatur	112
7.3	GIS-basierte Analyse des Wasserstofftransports	116
7.3.1	Deutschland.....	116
7.3.2	Frankreich.....	118
7.3.3	Japan.....	120
7.3.4	Länderübergreifender Vergleich der GIS-basierten Ergebnisse	122
7.3.5	Diskussion und Einordnung in die Literatur	124
7.4	Ergebnisse der techno-ökonomischen Pfadanalyse	127

7.4.1	Deutschland.....	128
7.4.2	Frankreich.....	132
7.4.3	Japan.....	136
7.4.4	Länderübergreifender Vergleich der techno-ökonomischen Analyse.....	140
7.4.5	Diskussion und Einordnung in die Literatur	143
7.5	Abschätzung des Kostenreduktionspotenzials einer Optimierung.....	148
7.5.1	Optimierungspotenzial zwischen Pipeline und Trailer-Distribution.....	149
7.5.2	Optimierungspotenzial LKW Transport.....	151
7.5.3	Diskussion	153
7.6	Exkurs: Wasserstoffimport nach Deutschland	154
7.7	Zusammenfassung.....	158
8	Diskussion	161
8.1	Technologiespezifische Diskussion	161
8.2	Diskussion regionspezifischer Analysen	163
9	Zusammenfassung.....	165
9.1	Ziel der Arbeit und Vorgehensweise.....	165
9.2	Methoden und Modelle.....	165
9.3	Ermittlung der Technologieparameter	166
9.4	Ergebnisse der abstrakten Analyse	166
9.5	Ergebnisse der regionalen Analyse	167
9.6	Schlussfolgerungen.....	168
A	Mathematische Modelle der Transportmodelle.....	171
A.1	Lineares Flussmodell zur Zuweisung von Quelle und Senke.....	171
A.2	Gemischt-ganzzahliges Flussproblem.....	171
B	Techno-ökonomische Analyse des 25 % und 50 % Szenarios.....	173
B.1	Deutschland.....	173
B.2	Frankreich	174
B.3	Japan	176
C	Nomenklatur	179
D	Abbildungsverzeichnis	181
E	Tabellenverzeichnis	187
F	Literaturverzeichnis	189

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 467
ISBN 978-3-95806-414-0

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

