



Initialinfrastruktur für Wasserstoffmobilität auf Basis von Flotten

Fabian Gröger

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 466

ISBN 978-3-95806-413-3

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

Initialinfrastruktur für Wasserstoffmobilität auf Basis von Flotten

Fabian Grüger

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

Band / Volume 466

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-413-3

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	2
2. Wasserstoff als Teil der Verkehrswende	5
2.1. Verkehrswende	5
2.1.1. Notwendigkeit einer Verkehrswende	5
2.1.2. Elemente der Verkehrswende	7
2.2. Mobilität auf Basis von Wasserstoff und Brennstoffzellen	9
2.2.1. Brennstoffzellenfahrzeuge und Wasserstoffbereitstellung	9
2.2.2. Wasserstofftankstellen und ihre Komponenten	10
2.2.3. Bestand und Ausbauplan von Wasserstofftankstellen	12
2.3. Zusammenfassung von Kapitel 2	13
3. Literaturanalyse und vorangegangene Arbeiten	15
3.1. Initialphase des Infrastrukturaufbaus	15
3.1.1. Infrastruktur für hohe Marktdurchdringungen von FCEV	16
3.1.2. Mindestinfrastruktur für einen Markthochlauf von FCEV	18
3.1.3. Ansätze für einen schrittweisen Aufbau von Infrastruktur in der Initialphase	20
3.1.4. Zusammenfassung von Kapitel 3.1	22
3.2. Modellierung von Wasserstoffnachfragern	23
3.2.1. Modellierung von Bussen als Wasserstoffnachfrager	23
3.2.2. Modellierung von Taxis als Wasserstoffnachfrager	23
3.2.3. Modellierung von Carsharing-Fahrzeugen als Wasserstoffnachfrager	24
3.2.4. Zusammenfassung von Kapitel 3.2	25
3.3. Auslegung und Betrieb von Wasserstoffsystemen	25
3.3.1. Auslegung von Wasserstoffsystemen	26
3.3.2. Betrieb von Wasserstoffsystemen	27
3.3.3. Zusammenfassung von Kapitel 3.3	30
3.4. Nutzen von Tankinfrastruktur für private Nachfrager	31
3.4.1. Tankverhalten privater PKW-Nutzer	31
3.4.2. Ansätze zur Abbildung von „Tanken in der Nähe des Zuhauses“	33
3.4.3. Ansätze zur Abbildung von „Tanken auf dem Weg zu einem Ziel“	35
3.4.4. Sonstige Modelle und Ansätze zur Tankstellenpositionierung	39

3.4.5. Zusammenfassung von Kapitel 3.4	40
3.5. Vorangegangene Arbeiten zu Modell- und Simulationsgrundlagen	41
3.5.1. Simulationsframework	42
3.5.2. Genetischer Algorithmus	43
3.5.3. Modelle der Komponenten einer Wasserstofftankstelle	44
3.5.4. Zusammenfassung von Kapitel 3.5	46
4. Nicht-lokale und lokale Nachfrager von Wasserstoff als Kraftstoff	47
4.1. Private PKW als nicht-lokale Nachfrager	48
4.1.1. Beschreibung und Anforderungen an Infrastruktur	48
4.1.2. Modellierung des Tankverhaltens	50
4.2. Busse als lokale Nachfrager	54
4.2.1. Beschreibung	54
4.2.2. Anforderungen an Infrastruktur	54
4.2.3. Modellierung des Tankverhaltens	56
4.2.4. Kosten von Brennstoffzellenbussen	58
4.3. Taxis als lokale Nachfrager	59
4.3.1. Beschreibung	59
4.3.2. Anforderungen an Infrastruktur	60
4.3.3. Modellierung des Tankverhaltens	60
4.3.4. Kosten von Brennstoffzellentaxis	63
4.4. Carsharing-Fahrzeuge als lokale Nachfrager	64
4.4.1. Beschreibung	64
4.4.2. Anforderungen an Infrastruktur	65
4.4.3. Modellierung des Tankverhaltens	66
4.4.4. Kosten von Carsharing-Fahrzeugen mit Brennstoffzelle	69
4.5. Zusammenfassung von Kapitel 4 und Literaturabgleich	70
5. Auslegung einer H₂-Initialzelle	73
5.1. Methodik	74
5.1.1. Topologieoptimierung	74
5.1.2. Simulationsmodell	75
5.2. Ergebnisse	81
5.2.1. Wasserstoffgestehungskosten und Systemauslegung	81
5.2.2. Wirtschaftlichkeit	89
5.2.3. Sensitivitätsanalyse	92
5.3. Zusammenfassung von Kapitel 5 und Literaturabgleich	99
6. Auslegung eines H₂-Initialnetzwerks	103
6.1. Methodik	104
6.1.1. Methode zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der Infrastruktur	108
6.1.2. Methode zur Quantifizierung des Nutzens eines HRS-Netzwerks für private Nachfrager	109

6.1.3.	Optimierungsschritt 1: Optimale Positionen für HRS finden . .	112
6.1.4.	Optimierungsschritt 2: Optimale Flottenkombinationen und HRS- Anzahlen finden	116
6.1.5.	Optimierungsschritt 3: Optimales Netzwerk aus HRS und Flot- ten bestimmen	117
6.2.	Szenarien	120
6.2.1.	Szenarien 1a und 1b: Detailanalyse für die neuen Bundesländer	121
6.2.2.	Szenarien 2a, 2b und 2c: Übertragung auf das Bundesgebiet . .	124
6.3.	Ergebnisse	127
6.3.1.	Optimale Tankstellenpositionen	127
6.3.2.	Optimale Flottenkombinationen	135
6.3.3.	Optimales Gesamtnetzwerk aus HRS und Flotten	138
6.4.	Zusammenfassung von Kapitel 6 und Literaturabgleich der Annahmen	152
6.5.	Literaturabgleich der Ergebnisse und Gesamtdiskussion	156
7.	Zusammenfassung	163
	Anhang	167
A.	Ausblick	169
B.	Kostenparameter HRS	171
C.	Bestimmung von Wasserstoffgestehungskosten	175
D.	Anhang zu Kapitel 5	177
E.	Anhang zu Kapitel 6	183
F.	Abkürzungsverzeichnis	189
G.	Abbildungsverzeichnis	191
H.	Tabellenverzeichnis	193
I.	Literaturverzeichnis	195
	Danksagung	209

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 466
ISBN 978-3-95806-413-3