



Strategieentwicklung zur Umsetzung der Klimaschutzziele im Verkehrssektor mit dem Fokus Kraftstoffe

Maximilian Decker

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 613

ISBN 978-3-95806-714-1

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-14)

Strategieentwicklung zur Umsetzung der Klimaschutzziele im Verkehrssektor mit dem Fokus Kraftstoffe

Maximilian Decker

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

Band / Volume 613

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-714-1

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	iii
Abstract	v
Inhaltsverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Gliederung	3
2 Literatur	7
2.1 Studienübersicht	7
2.1 Zukünftige Entwicklungen im Transport- und Kraftstoffsektor	7
2.1.1 Verkehrsleistung	9
2.1.2 Elektromobilität als Fundament eines defossilisierten Verkehrssektors.....	11
2.1.3 Kraftstoffbedarf von Fahrzeugen	16
2.1.4 Zwischenfazit.....	16
2.2 Grundlagen des Power-to-Fuel-Konzeptes	17
2.2.1 Herstellungspfade von Elektrokraftstoffen.....	17
2.2.2 CO ₂ Abtrennung und Nutzung	25
2.2.3 Einbindungsmöglichkeiten der Power-to-Fuel Produktion in das bestehende Energiesystem	30
2.2.4 Herstellungskosten von Elektrokraftstoffen	33
2.2.5 Marktentwicklung synthetischer Kraftstoffe	35
2.3 Biokraftstoffe.....	37
2.3.1 Biokraftstoffe erster Generation.....	37
2.3.2 Biokraftstoffe zweiter Generation	39
2.3.3 Potenziale.....	45
2.4 Stand und Entwicklungsperspektiven von fossilen Kraftstoffen	49
2.5 Politische Rahmenbedingungen.....	50
2.6 Die S-Kurven-Methode	52
2.7 Zwischenfazit.....	55
3 Methoden	57
3.1 Anwendung der S-Kurven-Methode	57
3.2 Bottom-up Szenarienentwicklung für den nationalen Nutzfahrzeugverkehr	57
3.2.1 Umrechnung der Kennzahlen	58
3.2.2 Ausführung der Zukunftsprognosen	58
3.2.3 Elektrifizierungsraten im Marktdiffusionsmodell	59
3.3 Auslegung eines transient betriebenen Power-to-Fuel Systems in Matlab.....	59

3.3.1	Modellaufbau.....	60
3.3.2	Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	66
3.4	Systemmodellierung mit Python.....	70
3.4.1	Modell 1: Optimierung von Kraftstoffversorgungspfaden.....	72
3.4.2	Modell 2: Monte-Carlo.....	74
3.4.3	Modell 3: Wirtschaftlichkeitsanalyse eines Kraftstoffversorgungssystems.....	74
3.5	Veredelung von Fischer-Tropsch-Syntheseprodukten zu Verkehrskraftstoffen.....	77
3.5.1	Charakterisierung des FT-Produktstroms.....	78
3.5.2	Vorstellung des Veredlungskonzepts.....	80
4	Szenarienentwicklung zur Beschreibung des Verkehrs bis 2050.....	83
4.1	Validierung der Methode zur Kennzahlenumrechnung.....	83
4.2	Entwicklungsprognose des Nutzfahrzeugbestandes.....	87
4.3	Berechnung der Marktdiffusion elektrifizierter Nutzfahrzeuge.....	91
4.3.1	Grundannahmen des Marktdiffusionsmodells.....	91
4.3.2	Ergebnisse des Marktdiffusionsmodells.....	93
4.4	Entwicklung des Pkw-Verkehrs.....	94
4.5	Erweiterung des Szenarios für weitere Verkehrsträger.....	95
4.5.1	Luftfahrt.....	95
4.5.2	Sonstige Nutzfahrzeuge.....	95
4.5.3	Schienenfahrzeuge und Schiffe.....	96
4.6	Auswertung und Diskussion der Szenarienentwicklung.....	96
4.6.1	Marktentwicklung von Brennstoffzellenfahrzeugen in den Szenarien.....	96
4.6.2	Literaturvergleich.....	98
4.7	Zwischenfazit.....	99
5	Abschätzung des zukünftigen Kraftstoffbedarfs im Verkehrssektor.....	101
5.1	Modellvalidierung.....	101
5.2	Auswertung und Diskussion des Kraftstoffbedarfs unter verschiedenen Entwicklungsszenarien.....	102
5.3	Sensitivitätsanalyse anhand der Monte-Carlo Methode.....	105
5.4	Zwischenfazit.....	107
6	Innovative Integrationskonzepte von Power-to-Fuel-Systemen.....	109
6.1	Inselsystem zur Produktion von Kraftstoffen mit CO ₂ Punktquellen.....	109
6.1.1	Standortauswahl.....	109
6.1.2	Modellierungsergebnisse.....	111
6.1.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	112
6.1.4	Sensitivitätsanalysen.....	118
6.1.5	Zwischenfazit.....	119
6.2	Veredelung von Syntheseprodukten zu Verkehrskraftstoffen.....	120
6.2.1	Modellierungsergebnisse und Diskussion.....	120
6.2.2	Energetische Auswertung.....	124
6.2.3	Zwischenfazit.....	126

7	Techno-ökonomische Analyse einer Produktionsinfrastruktur für Elektrokraftstoffe.....	127
7.1	Potenzialanalyse von nutzbaren CO ₂ -Quellen.....	127
7.2	Ergebnisauswertung der Modellierung.....	128
7.2.1	Variation der Wasserstoffkosten	129
7.2.2	Alternative Kraftstoffe	132
7.3	Zwischenfazit / Schlussfolgerungen dieses Kapitels.....	136
8	Anwendung der S-Kurven-Methode zur Ergebniszusammenführung.....	139
8.1	Ableitung von Marktdurchdringungsgeschwindigkeiten anhand historischer Daten.....	139
8.2	Anwendung der S-Kurven-Methode auf die Entwicklung der PtF-Technologie	141
8.2.1	Aufbau von PtF-Produktionskapazität	141
8.2.2	Wasserstoffbedarf	143
8.3	Anwendung des Phasenprinzips der Sektorenkopplung.....	145
8.3.1	Ableitung von Eckpunkten einer Transformationsphase.....	145
9	Schlussfolgerungen	149
10	Zusammenfassung	153
	Literaturverzeichnis.....	155
	Abkürzungsverzeichnis	171
	Symbolverzeichnis.....	173
	Abbildungsverzeichnis	175
	Tabellenverzeichnis	181
A.	Anhang	183
A.1	Ergänzende Informationen zu Kapitel 3	183
A.2	Ergänzende Informationen zu Kapitel 4	191
A.3	Ergänzende Informationen zu Kapitel 5	199
A.4	Ergänzende Informationen zu Kapitel 6	209
A.5	Ergänzende Informationen zu Kapitel 7	222

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 613
ISBN 978-3-95806-714-1

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

