



Techno-ökonomische Bewertung von Verfahren zur Herstellung von Kraftstoffen aus H_2 und CO_2

Steffen Schemme

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 511

ISBN 978-3-95806-499-7

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

Techno-ökonomische Bewertung von Verfahren zur Herstellung von Kraftstoffen aus H₂ und CO₂

Steffen Schemme

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

Band / Volume 511

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-499-7

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
1.1	Motivation für die Untersuchung der Synthese von Elektrokraftstoffen.....	2
1.2	Forschungsbedarf	5
1.3	Zielsetzung dieser Arbeit	6
1.4	Gliederung der Arbeit	7
2	Stand der Technik und Forschung.....	9
2.1	Kraftstoffbedarf	9
2.2	Konventionelle Kraftstoffe und Beimischungen	10
2.2.1	Allgemeine Anforderungen.....	12
2.2.2	Dieselmotorkraftstoffe.....	13
2.2.3	Ottomotorkraftstoffe	20
2.2.4	Flugtriebwerkskraftstoffe.....	25
2.2.5	Wichtige Schlussfolgerungen	30
2.3	Kommerzielle Herstellung nicht-erdölbasierter Kraftstoffe.....	31
2.4	Potenzielle strombasierte Kraftstoffe und Syntheserouten.....	34
2.4.1	Eduktbereitstellung.....	36
2.4.2	Synthesegasbereitstellung	38
2.4.3	Alkohole	40
2.4.4	Ether	47
2.4.5	Kohlenwasserstoffe.....	61
2.5	Techno-ökonomische Vergleiche nicht-kommerzieller Syntheserouten	66
2.6	Fazit	68
3	Methodik der techno-ökonomischen Bewertung.....	69
3.1	Bilanzraum der techno-ökonomischen Bewertung.....	69
3.2	Methodik der verfahrenstechnischen Bewertung.....	72
3.2.1	Modularität/Baukastenprinzip der Syntheserouten	72
3.2.2	Entwicklung der verfahrenstechnischen Prozesse	74
3.2.3	Kennzahlen zur Bewertung der Effizienz der Herstellungsverfahren	76
3.3	Methodik der ökonomischen Bewertung.....	78
3.3.1	Betriebskosten (OPEX)	79
3.3.2	Investitionskosten (FCI).....	81
3.3.3	Herstellkosten	85
4	Diskussion und Selektion zu vergleichender Syntheserouten	87
4.1	Alkohole	88
4.2	Ether	90
4.3	Kohlenwasserstoffe	91
4.4	Ergebnis der Selektion	93
4.5	Maximal mögliche Wirkungsgrade	93
5	Verfahrenstechnische Analyse der Syntheserouten	97
5.1	Stoffdaten und thermodynamisches Modell für die Ethersynthese	97
5.1.1	Generierung fehlender und Anpassung vorhandener Stoffdaten der Ethersynthese	99

5.1.2	Modellierung der Thermodynamik für die Ethersynthese	101
5.2	Stoffdaten für die Fischer-Tropsch-Synthese	116
5.3	Verfahrenstechnische Auslegung und Simulation der Teilprozesse	116
5.3.1	Methanol aus H ₂ und CO ₂	117
5.3.2	DME aus Methanol.....	119
5.3.3	Ethanol aus DME, H ₂ und CO ₂	121
5.3.4	1-Butanol aus Ethanol.....	123
5.3.5	2-Butanol aus 1-Butanol	125
5.3.6	iso-Oktanol aus 1-Butanol.....	126
5.3.7	Formaldehyd aus Methanol	129
5.3.8	Trioxan aus Formalin.....	133
5.3.9	OME ₁ aus Methanol und Formalin	137
5.3.10	OME ₃₋₅ aus Methanol und Formalin	138
5.3.11	OME ₃₋₅ aus OME ₁ und Trioxan	141
5.3.12	OME ₃₋₅ aus DME und Trioxan	143
5.4	Energetische Bilanzierung der Syntheserouten zu Alkoholen.....	145
5.5	Energetische Bilanzierung der Syntheserouten zu Ethern	147
5.6	Auslegung und Analyse von Chemieanlagen zur Kohlenwasserstoffsynthese.....	150
5.6.1	Kohlenwasserstoffe via Fischer-Tropsch-Verfahren	150
5.6.2	Kohlenwasserstoffe via Methanol-to-Gasoline-Verfahren.....	154
5.7	Zusammenfassung und Diskussion der Simulationsergebnisse	158
6	Ökonomische Analysen der Syntheserouten.....	163
6.1	Investitionskosten.....	164
6.1.1	Investitionskosten der Alkoholsynthesen.....	164
6.1.2	Investitionskosten der Ethersynthesen	166
6.1.3	Investitionskosten der Kohlenwasserstoffsynthesen	168
6.2	Herstellkosten der verschiedenen Elektrokraftstoffe	170
6.3	Sensitivitätsanalysen der Ergebnisse.....	172
6.3.1	Einfluss verschiedener Parameter auf die Herstellkosten.....	172
6.3.2	Einfluss der Anlagengröße auf die Herstellkosten.....	174
7	Auswertung und Fazit	177
7.1	Auswertung der techno-ökonomischen Analysen.....	177
7.2	Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschung	183
7.3	Vor- und Nachteile der verschiedenen Elektrokraftstoffe	184
7.4	Quintessenz und Schlussfolgerungen	187
8	Zusammenfassung	191
	Literaturverzeichnis	195
	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis.....	227
	Abbildungsverzeichnis.....	231
	Tabellenverzeichnis.....	235
	Anhang – Ergänzende Informationen.....	239

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 511
ISBN 978-3-95806-499-7