

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	AUSGANGSPUNKT UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN	5
3	GRUNDLAGEN	11
3.1	Brennstoffzelle	11
3.1.1	Grundlagen zur Brennstoffzelle	11
3.1.2	SOFC im Reformatbetrieb	23
3.2	Koksbildung	31
3.2.1	Mechanismen der Kohlenstoffablagerung	34
4	EXPERIMENTELLES	39
4.1	SOFC-Versuchsstand	39
4.1.1	Aufbau des Versuchsstandes	39
4.1.2	Aufbau der verwendeten Zellen	43
4.1.3	Aufnahme von Strom-/Spannungs-Kennlinien	43
4.1.4	Impedanzmessungen	44
4.1.5	Gasanalyse	44
4.2	Rasterelektronenmikroskop (REM)	47
4.3	Auswahl eines Modellkohlenwasserstoffes für die Untersuchung der Stabilität des SOFC-Betriebs mit Diesel-Reformat	48
4.4	Ermittlung der Koksmenge	49
4.5	Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen	52
4.5.1	Durchführung der Messungen	52
4.5.2	Temperaturbereich der Messungen	53
4.5.3	Definition der Modellgaszusammensetzung zur Ermittlung der Koksstoffmenge ..	54

Inhaltsverzeichnis

4.5.4	Vorgehensweise bei der Ermittlung des Methanumsatzes	54
4.5.5	Parametervariation	56
4.5.6	Langzeitmessungen	56
4.6	Definition der verwendeten Größen	57
5	MODELLENTWICKLUNG.....	59
5.1	Stationäres isothermes Einzelzellmodell	59
5.2	Adiabates Stack-Modell.....	70
6	ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	79
6.1	Elektrische Charakterisierung einer SOFC-Einzelzelle im Reformatbetrieb.....	80
6.1.1	Einfluss der Gaszusammensetzung auf den U/I-Kennlinienverlauf.....	80
6.1.2	Einfluss der Temperatur auf den U/I-Kennlinienverlauf	84
6.1.3	Ermittlung der Starttemperatur.....	88
6.1.4	Vergleich des Reformat-Betriebs mit dem H ₂ -Betrieb	89
6.2	Grundlagenuntersuchungen zur Bildung kohlenstoffhaltiger Ablagerungen an einer Einzelzelle.....	92
6.2.1	Einfluss der Gaszusammensetzung auf die Kohlenstoffausbeute	92
6.2.2	Einfluss der Temperatur auf die Kohlenstoffausbeute	95
6.2.3	Ermittlung der Grenzbedingungen für die Koksbildung.....	96
6.2.4	Elektrochemische Degradation unter Variation der Betriebsbedingungen	99
6.2.5	Untersuchung des Mechanismus der elektrochemischen Degradation durch Kohlenstoff.....	101
6.2.6	SOFC-Betrieb unter stabilen Bedingungen.....	106
6.3	Grundlagenuntersuchungen zur Kohlenwasserstoff-Umsetzung an einer Einzelzelle	110
6.3.1	Umsetzung von Methan im SOFC-Betrieb mit Kraftstoff-Reformat.....	110
6.3.2	Untersuchungen zum Umsatz von Methan im Temperaturbereich von 750 bis 850°C	
		113

6.3.3	Ermittlung einer Kinetik für die Leitkomponente Methan.....	115
6.4	Validierung des elektrochemischen Modells.....	121
6.5	Modellierung eines APU-Stacks.....	124
6.6	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	129
6.6.1	Fehlerbetrachtung.....	129
6.6.2	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	137
7	ZUSAMMENFASSUNG	143
8	LITERATURVERZEICHNIS	149
9	SYMBOLVERZEICHNIS.....	163
10	ABKÜRZUNGEN	169
A	ANHANG: ERGÄNZENDE BERECHNUNGEN	171
A.1	Berechnung des Gesamtvolumenstromes während der Koksvergasung	171
A.2	Berechnung der Bodensteinzahl Bo	172
A.3	Abschätzung des Druckverlustes	173
A.4	Berechnung der Feststoffwärmeleitfähigkeit.....	175
A.5	Berechnung der Kohlenstoffausbeute durch Bildung von C-Whiskern	177
A.6	Berechnung des Volumenstromes unter Betriebsbedingungen	179
B	NUMERISCHE UMSETZUNG DER MODELLE.....	183
C	ERGÄNZUNGEN ZU DEN EXPERIMENTELLEN UNTERSUCHUNGEN	187
C.1	Ergänzungen zu den impedanzspektroskopischen Untersuchungen der elektrochemischen Degradation durch Koksbildung.....	187

Inhaltsverzeichnis

C.2	Vergleich der U/I-Kennlinien im H₂- und Reformatbetrieb bei $T = 750^{\circ}\text{C}$.....	188
C.3	Vergleich der elektrochemischen Leistungen der getesteten Zellen.....	189
C.4	Betrieb einer SOFC-Einzelzelle in Kopplung mit einem technischen CPOX-Reaktor	190
C.5	Blindmessungen zur Ermittlung der Kohlenstoffausbeute im Messaufbau ohne Brennstoffzelle	194
D	ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHGEFÜHRTEN MESSUNGEN.....	197
E	STOFFWERTE	203