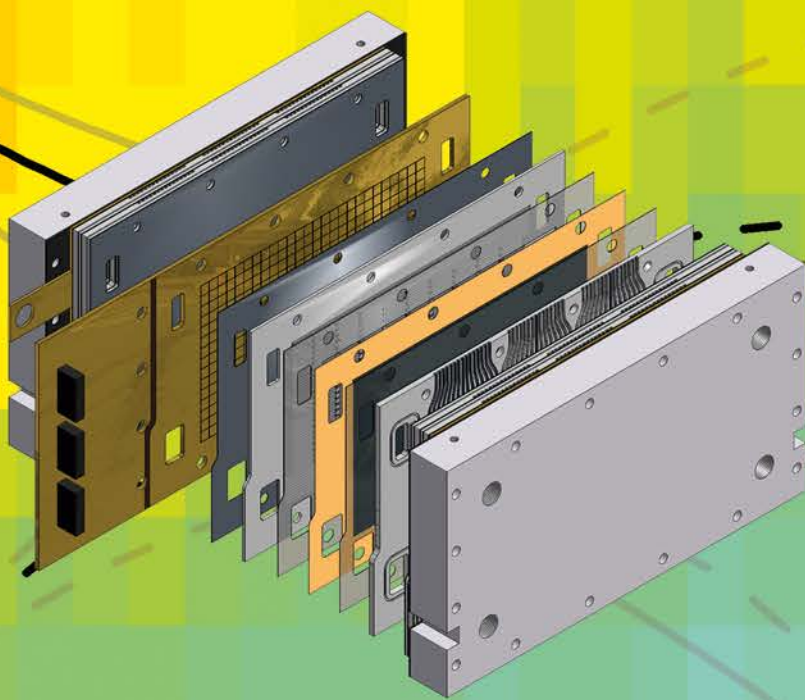




Analyse des Betriebsverhaltens von Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen

Lukas Lücke

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

Analyse des Betriebsverhaltens von Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen

Lukas Lücke

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

Band / Volume 192

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-89336-909-6

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	1
2	GRUNDLAGEN UND STAND DER TECHNIK	3
2.1	Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen (HT-PEFC)	3
2.2	HT-PEFCs im Betrieb mit Dieselreformat	4
2.3	HT-PEFC-Stacks	4
2.4	Wirkungsgrad und Leistung	6
2.4.1	Wirkungsgrad	6
2.4.2	Leistungscharakteristik	8
2.4.3	Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Leistungscharakteristik	9
2.5	Alterung	10
2.5.1	Verkleinerung der Katalysator-Fläche durch Pt-Agglomeration	12
2.5.2	Verringerung der Elektrolyt-Leitfähigkeit	14
2.5.3	Phosphorsäure-Verlust	15
2.5.4	Membranschädigung	17
2.5.5	Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Alterung	17
2.6	Stromdichteverteilungsmessung	19
3	EXPERIMENTELLES	21
3.1	Aufbau von Stacks und Einzelzellen	21
3.1.1	Stacks	21
3.1.2	Einzelzellen	25
3.2	Betrieb von Stacks und Einzelzellen	27
3.3	Messmethoden	28
3.3.1	Aufnahme von Polarisationskurven	28
3.3.2	Stromdichteverteilungsmessung	28
3.3.3	Temperaturmessung	32
3.3.4	Impedanzspektroskopie	33
3.4	Fehleranalyse	33
3.4.1	Zellspannungsmessung	33
3.4.2	Stromdichteverteilungsmessung	36
4	DER EINFLUSS DER REFORMATKOMPONENTEN AUF DIE LEISTUNG	45
4.1	Kohlenmonoxid (CO)	45
4.2	Stickstoff (N ₂) und Kohlendioxid (CO ₂)	49

4.3 Methan (CH_4)	54
4.4 Wasser (H_2O).....	54
4.5 Fazit: Verdünnung und Vergiftung.....	55
5 ORTSAUFGELOSTE ANALYSE DES STATIONÄREN BETRIEBSVERHALTENS.....	57
5.1 Die lokale Variabilität der Gaszusammensetzung	58
5.1.1 Brenngaszusammensetzung am Gasauslass.....	59
5.1.2 Konzentrationsverlauf im Kanal	62
5.1.3 Strömungsführung über der Zellfläche.....	65
5.2 Stromdichteverteilung	66
5.2.1 Stromdichteverteilung im Betrieb mit H_2 und Luft	67
5.2.2 Stromdichteverteilung im Betrieb mit Reformat und Luft.....	71
5.2.3 Vergleich von Gleichstrom und Gegenstrom	74
5.3 Temperaturverteilung	76
5.3.1 Messung der Temperaturverteilung über der Zellfläche	76
5.3.2 Der Einfluss der Temperaturverteilung auf die Stromdichteverteilung	79
5.4 Fazit: Ortsaufgelöste Leistungsanalyse	81
6 DER EINFLUSS DER BETRIEBSFÜHRUNG AUF DIE ALTERUNG.....	83
6.1 Messung der Alterung	83
6.2 Der Einfluss der Temperatur auf die Alterung	88
6.3 Der Einfluss des Reformatbetriebs auf die Alterung.....	91
6.4 Der Einfluss der Strömungsführung auf die Alterung	93
6.5 Lokale Alterung – Unterschiede zwischen den einzelnen Zellen.....	95
6.6 Lokale Alterung – Unterschiedliche Leistungsentwicklung in der Zellfläche.....	97
6.7 Alterungsexperimente an Modellzellen	100
6.7.1 Irreversible lokale Alterung	104
6.7.2 Reversible lokale Alterung	106
6.8 Fazit: Alterung	107
7 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG	109
7.1 Diskussion.....	109
7.2 Zusammenfassung.....	113
8 LITERATURVERZEICHNIS	115
9 ANHANG.....	125
9.1 Anhang zu Kapitel 2	125
9.1.1 Zusammensetzung von Dieselreformat	125

9.1.2	Alterungsraten von Stacks und Einzelzellen	126
9.1.3	Abhängigkeit der Alterung von der Last nach [59]	128
9.2	Anhang zu Kapitel 3	128
9.2.1	Leistungscharakteristik verschiedener MEA-Chargen	128
9.2.2	Datenblätter lange Zelle	130
9.2.3	Daten Monte-Carlo-Simulation	131
9.2.4	Ergänzungen zur Berechnung der Querleitfähigkeit	132
9.3	Anhang zu Kapitel 5	135
9.3.1	Berechnung von Stromdichteprofilen	135
9.3.2	Berechnung der Stromdichtespreizung	136
9.3.3	Zellspannung Stack	137
9.3.4	Interferenzmuster im Dummy-Stack	137
9.3.5	Wärmebilanz Stack	138
9.3.6	Differenz Temperaturdaten H ₂ -Betrieb und Reformat-Betrieb	139
9.4	Anhang zu Kapitel 6	140
9.4.1	Versuchsdaten Alterungsversuche	140
9.4.2	Unterschiedliche Zellalterung in Stacks	140
9.4.3	Zellspannungsverläufe lange Zelle	141
9.4.4	Temperaturverteilung lange Zelle	142
9.5	Abbildungsverzeichnis	143
9.6	Tabellenverzeichnis	147
9.7	Abkürzungsverzeichnis	148
9.8	Formelzeichen	150

Eine vielversprechende Einsatzmöglichkeit für Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen ist die effiziente Bordstromversorgung von Nutzfahrzeugen. Für die Kombination mit einem Brenngaserzeugungssystem ist die Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle dabei aufgrund ihrer hohen Toleranz gegenüber Kohlenstoffmonoxid besonders gut geeignet. Insbesondere in dieser Umgebung ist jedoch die Optimierung der Betriebsführung von Brennstoffzellen-Stacks hinsichtlich hoher Leistungsdichte, Effizienz und Lebensdauer erforderlich. Deshalb wird in dieser Arbeit der Einfluss der Betriebsparameter auf die Leistungscharakteristik und Alterung der Brennstoffzellen analysiert. Die Besonderheit des Ansatzes liegt dabei in der kombinierten Betrachtung des globalen und des lokalen Betriebsverhaltens durch den Einsatz von Stromdichteverteilungsmessungen.

Autor:

Lukas Lücke studierte an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) Maschinenbau mit der Studienrichtung Verfahrenstechnik. Von 2010 bis 2013 beschäftigte er sich am Institut für Energie- und Klimaforschung – Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) im Forschungszentrum Jülich mit der Analyse des Betriebsverhaltens von Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen für die Anwendung in mobilen Brennstoffzellen-Systemen. Der Inhalt dieses Buches wurde von der RWTH Aachen als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigt.

Institut:

Die Forschungsaufgaben des Instituts für Energie- und Klimaforschung – Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) sind auf die Realisierung von Hoch- und Niedertemperaturbrennstoffzellen sowie von entsprechenden Stacks oder Systemen für stationäre oder mobile Anwendungen ausgerichtet. Ferner umfassen die verfahrens- und systemtechnischen Entwicklungen die Bereitstellung von Apparaten zur Brenngaserzeugung. Diese Arbeiten werden von physikalisch-chemischen Grundlagenuntersuchungen sowie systemanalytischen Studien der Energieverfahrenstechnik begleitet.