



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Kurzfassung	v
Abstract	vi
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Automobile Brennstoffzellensysteme	3
2.2 PEM-Brennstoffzelle	8
2.2.1 Thermodynamik und Aufbau	9
2.2.2 Wasserstoffunterversorgung und elektrochemische Betriebsgrenzen	13
2.2.3 Flüssigwassermanagement und Analyse	16
2.3 Konzepte für Anodensysteme	19
2.4 Motivation und Ziele der Arbeit	24
3 Wassermanagement der Anode	27
3.1 Motivation	27
3.2 Modellbildung	28
3.2.1 Stoffmengenbilanzen	29
3.2.2 Druckverlust	32
3.2.3 Zellspannung	34
3.2.4 Flüssigwasseraustrag	36
3.3 Experimentelles	39
3.3.1 Brennstoffzelle und Prüfvorrichtung	40
3.3.2 Durchführung der Messungen und Simulation	42



3.4	Ergebnisse und Diskussion	44
3.4.1	Druckverlust und Zellspannung	44
3.4.2	Feuchteinfluss auf die Stromdichteverteilung	49
3.4.3	Flüssigwasseraustrag und Stabilität	52
3.4.3.1	Einzelzelle	52
3.4.3.2	Brennstoffzellenstapel	62
4	Anodenkaskadierung	69
4.1	Motivation und Konzeptbeschreibung	69
4.2	Modellbildung	71
4.3	Experimentelle Untersuchungen	75
4.4	Ergebnisse und Diskussion	77
5	Anodensystemkonzepte	87
5.1	Motivation	87
5.2	Aktive Rezirkulation	88
5.2.1	Modellierung	89
5.2.2	Ergebnisse und Diskussion	91
5.3	Passive Strahlpumpe	94
5.3.1	Modellierung	95
5.3.2	Ergebnisse und Diskussion	99
5.4	Regelbare Strahlpumpe	104
5.4.1	Auslegung und Modellierung	105
5.4.2	Ergebnisse und Diskussion	107
5.4.2.1	Kombination mit klassischem Stapel	108
5.4.2.2	Kombination mit kaskadiertem Stapel	110
5.5	Bewertung der Anodenkonzepte	113
6	Zusammenfassung & Ausblick	115
	Literatur	119
	Abbildungsverzeichnis	129
	Tabellenverzeichnis	135
A	Anhang	137
A.1	Physikalische Grundgleichungen	137



A.2	Messungen zum Wasseraustrag	139
A.3	Navier-Stokes-Gleichungen	140
A.4	Veröffentlichungen	141