

1	Einleitung	1
2	Stofftransport in porösen Körpern	5
2.1	Stofftransportmechanismen in zylindrischen Poren	5
2.1.1	Diffusiver Transport	6
2.1.2	Viskoser Transport.....	8
2.2	Porenmodell des porösen Körpers	9
2.3	Stofftransportmodelle.....	11
2.3.1	Das Dusty-Gas-Modell.....	12
2.3.1.1	Idee des Modells.....	12
2.3.1.2	Mathematische Beschreibung	13
2.3.2	Das Mean-Transport-Pore-Modell	14
2.3.2.1	Idee des Modells.....	14
2.3.2.2	Mathematische Beschreibung	15
2.3.3	Das Binary-Friction-Modell für Gase.....	17
2.4	Vergleich der Modelle	19
2.4.1	Generelle Unterschiede	19
2.4.1.1	Modellvorstellung	19
2.4.1.2	Mathematische Herleitung	20
2.4.2	Unterschiede bezüglich experimenteller Transportbedinungen	21
2.4.2.1	Isobarer, diffusiver Transport: qualitativ	21
2.4.2.2	Permeation eines einzelnen Gases: qualitativ	22
2.4.2.3	Quantitativer Vergleich der experimentellen Transportbedingungen..	22
3	Experimente zur Charakterisierung poröser Schichten	29
3.1	Diffusionssexperimente	29
3.1.1	Gebräuchliche Varianten	29
3.1.1.1	Aufbau und Messprinzip der Wicke-Kallenbach-Zelle	30
3.1.1.2	Stationäre Wicke-Kallenbach-Zelle	31
3.1.1.3	Dynamische Wicke-Kallenbach-Zelle.....	32
3.1.1.4	Vergleich der Betriebsvarianten	33

3.1.2 Verfahren nach <i>Valus</i> und <i>Schneider</i>	34
3.1.2.1 Messprinzip	34
3.1.2.2 Versuchsaufbau	36
3.1.2.3 Versuchsdurchführung	36
3.1.2.4 Auswertung der Messungen	38
3.2 Permeationsexperimente	39
3.2.1 Gebräuchliche Varianten	39
3.2.1.1 Prinzipieller Aufbau	40
3.2.1.2 Stationäre Permeationsexperimente	40
3.2.1.3 Instationäre Permeationsmessungen	41
3.2.1.4 Vergleich der Betriebsvarianten	41
3.2.2 Verfahren nach <i>Fott</i> und <i>Petrini</i>	41
3.2.2.1 Prinzip des Versuchs	41
3.2.2.2 Versuchsaufbau	42
3.2.2.3 Versuchsdurchführung	43
3.2.2.4 Auswertung der Messungen	44
4 Modifikation des Probenhalteraufbaus	49
4.1 Idee der Modifikation	49
4.2 Probenhalter	50
4.2.1 Aufbau des Probenhalters	50
4.2.2 Verwendete Dichtungen	52
4.2.3 Einfluss von Auflagelänge und Schichtdicke auf die Transportparameter	53
4.3 Bestimmung der Modellgeometrie	54
4.3.1 Bestimmung der Auflagelänge der Dichtung	55
4.3.1.1 Ergebnisse	55
4.3.1.2 Versuchsaufbau	56
4.3.1.3 Auswertung der Aufnahmen	57
4.3.2 Bestimmung der Schichtdicken	59
4.4 Untersuchung der Kathodenschicht auf Verformung	59

5 Numerische Berechnung des Stofftransports	63
5.1 Die Software FEMLAB®	63
5.2 Validierung des Lösungsverfahrens	64
5.3 Vereinfachte Beschreibung des Transports im Probenhalter.....	65
5.3.1 Vereinfachte Beschreibung der Probenhaltergeometrie	65
5.3.2 Unterschiedliche Merkmale hinsichtlich der Beschreibung von diffusivem und permeativem Transport.....	67
5.3.3 Abbildungsfehler	69
5.3.3.1 Abbildungsfehler mit Berücksichtigung der Freiräume	70
5.3.3.2 Abbildungsfehler ohne Berücksichtigung der Freiräume	71
5.4 Berechnung des permeativen Transports	72
5.4.1 Vernachlässigung der Freiräume des Probenhalters.....	72
5.4.2 Transport ohne Berücksichtigung der Freiräume.....	73
5.4.3 Permeabilitätskoeffizient eines mittleren Drucks.....	74
5.4.4 Parametrisierte Darstellung des permeativen Transports	77
5.4.4.1 Parametrierter Ausdruck	77
5.4.4.2 Adaption des Widerstandsanteils $^{1D}R_F$	79
5.5 Berechnung des diffusiven Transports	83
5.5.1 Transport ohne Berücksichtigung der Freiräume.....	84
5.5.1.1 Transportkoeffizient ohne Ortsabhängigkeit des Molenbruchs	84
5.5.1.2 Parametrisierte Darstellung des diffusiven Transports	86
5.5.2 Transport mit Berücksichtigung der Freiräume	86
 6 Bewertung und Einsatz des modifizierten Verfahrens.....	 89
6.1 Probenherstellung	89
6.1.1 Anodensubstrate.....	89
6.1.2 SOFC Testzellen mit Kathodenschicht	90
6.2 Durchführung und Auswertung der Messungen.....	91
6.2.1 Präparation des Probenhalteraufbaus	91
6.2.2 Durchführung der Messung	92
6.2.3 Auswertung der Messungen	92
6.2.4 Fehlerbetrachtung.....	93

6.3 Bewertung des neuen Probenhalteraufbaus	94
6.3.1 Vergleich von altem und neuem Probenhalter	94
6.3.1.1 Ergebnisse	94
6.3.1.2 Bewertung	95
6.3.2 Reproduzierbarkeit	96
6.4 Charakterisierung von Kathodenschichten	97
6.4.1 Bestimmung der Transportparameter als Modellparameter	97
6.4.1.1 Ergebnisse	98
6.4.1.2 Bewertung	99
6.4.2 Einfluss der Sinterremperatur auf die Transportparameter	100
6.4.2.1 Ergebnisse	100
6.4.2.2 Bewertung	104
 7 Zusammenfassung	 107
 8 Literaturverzeichnis	 111
 9 Nomenklatur	 117
 10 Anhang	 121
10.1 Stofftransport in porösen Körpern	121
10.1.1 Oberflächen- und konfigurale Diffusion	121
10.1.2 Harte-Molekül-Durchmesser	121
10.1.3 Berechnungskonstanten des binären Diffusionskoeffizienten	121
10.1.4 Berechnung der Viskosität der Gasgemische	121
10.1.5 Berechnungskonstanten der dynamischen Viskosität	122
10.2 Experimente zur Charakterisierung poröser Schichten	122
10.2.1 Bestimmung der Spüldauern	122
10.2.2 Bestimmung des Volumenstroms bei Start der Messung	123
10.2.3 Auswertung Permeationsmessung	124

10.3 Modifikation des Probenhalteraufbaus	125
10.3.1 Bemaßungen Probenhalter.....	125
10.3.2 Stauchungskurven der Dichtungen.....	127
10.3.3 Verzerrung der Aufnahmen der Dichtungen	127
10.4 Numerische Berechnung des Transports.....	128
10.4.1 Verifizierung des numerischen Lösungsverfahrens	128
10.4.2 Berechnung des Diskretisierungsfehlers	129
10.4.3 Diffusion: Vernachlässigung Freiraum.....	130
10.4.4 Abbildungsfehler	131
10.4.5 Ermittlung des Parameterraums der Transportparameter	132
10.4.6 Koeffizienten Druckverlust Probenhalter	134
10.5 Bewertung und Einsatz des modifizierten Verfahrens	134
10.5.1 Querschliffe von Anodensubstraten.....	134
10.5.2 Standardkathodenschichten: Ergebnisse Einzelmessungen	135
10.5.3 Variation der Sintertemperatur: Ergebnisse Einzelmessungen.....	135