

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Brennstoffzellen	1
1.2	Struktur	2
2	Grundlagen	5
2.1	Brennstoffzelle	5
2.1.1	Zellspannung	7
2.1.2	Membran einer PEM-Brennstoffzelle	9
2.2	Leitfähigkeit	11
2.2.1	Oberflächenleitung	12
2.2.2	Vehikel-Mechanismus	13
2.2.3	Protonen-Verschiebung	14
2.2.4	Leerstellenleitung	15
2.2.5	ionische Flüssigkeit	15
2.2.6	Arrhenius-Beschreibung	16
2.3	Impedanzspektroskopie	16
2.3.1	Einführung in die Impedanzspektroskopie	17
2.3.2	Impedanz-Graphen	18
2.3.3	Grundelemente der Impedanzmessung	19
2.3.4	Impedanzspektroskopie von Schaltkreisen	21
2.3.5	Ersatzschaltkreis	23
2.4	Perkolation	24
2.4.1	Grundlagen der Perkolation	24
2.4.2	Leitfähigkeitsmodell in der Perkolationstheorie	26
2.5	Ammonium Polyphosphate	29
2.5.1	Synthese	30
2.5.2	Molekulare Struktur von ASiTiPP	32
2.5.3	Eigenschaften von ASiTiPP	32

3	ASiTiPP-PBI-Membranen	35
3.1	ASiTiPP-PBI-Verbundwerkstoff	35
3.2	Darstellung der Membranen	37
3.3	Variation der Herstellungsmethode	40
4	Versuchsdurchführung	43
4.1	Herstellung von Ammonium Polyphosphate	43
4.1.1	ASiTiPP-Synthese	43
4.1.2	Validierung	46
4.1.3	Auswirkungen des Si/Ti-Verhältnisses	49
4.2	Impedanzmessungen	51
4.2.1	Versuchsaufbau	53
4.2.2	Ersatzschaltbild der Membranen	57
4.3	Crossover	60
4.3.1	Messung der Permeation	60
5	Resultate	65
5.1	Impedanzmessungen	65
5.1.1	Validierung des Ersatzschaltbilds	65
5.1.2	Externe Störungen	68
5.1.3	Temperaturschwankungen	70
5.1.4	Standardverfahren	72
5.1.5	Kramers-Kronig-Validierung	77
5.2	Leitfähigkeit der ASiTiPP-PBI-Membranen	80
5.3	Zusammensetzung der Membranen	82
5.3.1	Dichte von ASiTiPP	83
5.4	Berechnung des Füllfaktors	85
5.4.1	REM-Aufnahmen	86
6	Diskussion der Ergebnisse	89
6.1	ionische Leitfähigkeit	90
6.1.1	Leitfähigkeit bei 100°C	90
6.1.2	Reversibilität von Temperaturzyklen	93
6.2	Perkolationspunkt	100
6.2.1	Füllfaktor aus Leitfähigkeitsmessungen	101
6.2.2	Wert des Füllfaktors	102

6.3	Wasserpermeation	105
6.4	Membraneigenschaften	108
6.4.1	Langzeitstabilität	108
6.4.2	Wasserabhängigkeit	111
6.5	Vollzellenmessung	115
7	Zusammenfassung und Ausblick	119
7.1	Ausblick	122
A	Umrechnungstabelle ASiTIPP-Anteil	125
B	Luftfeuchtigkeit	127
C	Größenverteilung der ASiTIPP-Partikel	129
	Literaturverzeichnis	131