

---

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG UND AUFGABENSTELLUNG</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>TECHNISCHER ÜBERBLICK</b>	<b>9</b>
2.1	Bipolarplatten und -elemente	10
2.1.1	Bipolarplatten auf metallischer Basis	11
2.1.2	Bipolarplatten aus Grafit-Kunststoff-Mischungen	13
2.1.3	Weitere Varianten für Bipolarplatten	15
2.2	Protonenleitende Membranen	16
2.2.1	Derzeit verfügbare Membranmaterialien	17
2.2.2	Neue Konzepte ionenleitender Membranen	18
2.2.3	Auswahl von Ionomeren für die ökonomische Analyse	19
2.3	Katalysatormaterialien	22
2.3.1	Platin als zentraler Bestandteil von PEFC-Katalysatoren	22
2.3.2	Höhere Platin-Nutzungsgrade bei Trägerung auf Leitfähigkeitsruß	23
2.3.3	Nasschemisches Verfahren zur Synthese geträgerter Platinkatalysatoren	24
2.3.4	Synthese von Katalysatoren mittels Spray-Verdampfung	25
2.4	Gasdiffusionsmaterialien	26
2.5	Herstellung von Membran-Elektroden-Einheiten	27
2.5.1	Vakuum-Aufdampfverfahren	28
2.5.2	Sprühverfahren	28
2.5.3	Bandbeschichtungen und Siebdruckverfahren	28
2.6	Sonstige Stackbestandteile	31
2.7	Zusammenfassung	32
<b>3</b>	<b>KOSTENSITUATION</b>	<b>34</b>
3.1	Definition und Abgrenzung des Kostenbegriffs	34
3.2	Studien zu Stackkosten	34
3.2.1	Studie im Auftrag des U.S.-amerikanischen <i>Department of Energy (DoE)</i>	35
3.2.2	Studie der SGL Carbon Group (D)	36
3.2.3	Studie der Firma Siemens	37
3.3	Studien zu einzelnen Stack-Komponenten	38
3.3.1	Reine Grafitplatten mit gefrästen Kanalstrukturen	38
3.3.2	Metallische Bipolarplatten	38
3.3.3	Bipolarplatten aus Grafit-Kunststoff-Compositen	39
3.3.4	Membranpolymere	39
3.3.5	Kohlenstoff-geträgerte Edelmetall-Katalysatoren	42
3.3.6	Gasdiffusionslagen	43
3.3.7	Membran-Elektroden-Einheiten (MEAs)	43

---

3.4	Zusammenfassung .....	43
<b>4</b>	<b>METHODIK ZUR BAUTEIL- UND PROZESSANALYSE .....</b>	<b>45</b>
4.1	Strategische Kostenrechnung .....	45
4.2	Zusammensetzung der Herstellkosten .....	47
4.3	Benchmarking für PEFC-Stacks .....	47
4.3.1	Entstehung, Definition und Einsatzmöglichkeiten .....	47
4.3.2	Stackbewertung über ein Bauteil-Prozess-Benchmarking .....	48
4.3.3	Kennzahlen für das Kostenmodell .....	48
4.4	Ökonomisches Modell eines Brennstoffzellen-Moduls .....	49
4.5	Monte-Carlo-Analyse zur Materialkostenbewertung .....	55
4.5.1	Historische Entwicklung und Grundprinzip .....	56
4.5.2	Statistische Methodik zur Ermittlung von Erzeugniskosten .....	59
4.5.3	Kombination von Modell und Rohstoffkosten-Verteilungen .....	62
4.6	Investkostenbewertung von Produktionsanlagen .....	63
4.6.1	Literaturübersicht .....	63
4.6.2	Vorgehensweise der verfahrenstechnischen Kalkulation .....	64
4.6.3	Vorgehensweise bei PEFC-Stack-Komponenten .....	67
4.7	Zusammenfassung .....	72
<b>5</b>	<b>ANALYSE VON COMPOSIT-BIPOLARPLATTEN .....</b>	<b>73</b>
5.1	Klassifikation möglicher Abhängigkeiten .....	73
5.2	Composit-Platten aus Kunststoff und Grafit .....	74
5.3	Auswahl der Maschine .....	77
5.4	Kosten des Gießwerkzeugs .....	79
5.5	Materialkosten .....	79
5.6	Fertigungskosten .....	82
5.7	Herstellkosten und Beitrag zu möglichen PEFC-Stackkosten .....	86
5.8	Zusammenfassung .....	91
<b>6</b>	<b>ANALYSE UND BENCHMARKING VON MEMBRANPOLYMEREN .....</b>	<b>92</b>
6.1	Nafion <sup>®</sup> .....	93
6.1.1	Nafion <sup>®</sup> – Darstellung der chemischen Synthesekette .....	93
6.1.2	Nafion <sup>®</sup> – Verfahrenstechnische Umsetzung .....	95
6.1.3	Nafion <sup>®</sup> – Mengenbilanzierung und Materialkostenanalyse .....	99
6.1.4	Nafion <sup>®</sup> – Investkosten der Produktionsanlage .....	103

---

6.2	BAM-3G .....	105
6.2.1	BAM-3G – Darstellung der chemischen Synthesekette .....	105
6.2.2	BAM-3G – Verfahrenstechnische Umsetzung.....	107
6.2.3	BAM-3G – Mengenbilanzierung und Materialkostenanalyse .....	112
6.2.4	BAM-3G – Investkosten der Produktionsanlagen .....	116
6.3	Sulfoniertes Polyetherketon (PEEK).....	119
6.3.1	PEEK – Darstellung der chemischen Synthesekette .....	119
6.3.2	PEEK – Verfahrenstechnische Umsetzung.....	120
6.3.3	PEEK – Mengenbilanzierung und Materialkostenanalyse.....	123
6.3.4	PEEK – Investkosten der Produktionsanlage.....	124
6.4	Phosphorsäure-dotiertes Polybenzimidazol (PBI).....	126
6.4.1	PBI – Darstellung der chemischen Synthesekette .....	126
6.4.2	PBI – Verfahrenstechnische Umsetzung.....	128
6.4.3	PBI – Mengenbilanzierung und Materialkostenanalyse .....	130
6.4.4	PBI – Investkosten der Produktionsanlage .....	133
6.5	Vergleichende Diskussion von Material- und Fertigungskosten.....	134
6.6	Beitrag zu möglichen PEFC-Stackkosten .....	140
6.7	Zusammenfassung .....	143
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG, BEWERTUNG UND PERSPEKTIVEN .....</b>	<b>145</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>150</b>
8.1	Formelverzeichnis, Akronyme und CAS-Nummern der Chemikalien.....	150
8.2	Tabellenverzeichnis .....	153
8.3	Abbildungsverzeichnis .....	154
8.4	Kollektionen der Datenbank EUROPROMS.....	157
8.5	Exemplarisch ausgewählte Datensätze aus der Datenbank EUROPROMS.....	158
8.6	Auswerten von EUROPROMS-Daten .....	159
8.7	Composit-Spritzguss : Maschinendaten und Werkzeug-Kostenkalkulation .....	162
8.8	Composit-Spritzguss : Kostenaspekte von Bipolarplatten .....	165
8.9	Ionomersynthesen : Rückrechnung auf benötigte Eduktmengen.....	168
8.10	Ionomersynthesen : Berechnung des Anlagen-Kapitalbedarfs.....	175
8.11	Materialwert des Platins in Katalysatoren.....	185
8.12	Literaturverzeichnis .....	186