

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	1
1.1	Problemstellung/Stand der Forschung	1
1.2	Arten von elektrochemischen Zellen	5
1.3	Der Energieinhalt und die Belastbarkeit	5
2.	Die Entwicklung der Brennstoffzellen	7
2.1	Historische Zusammenfassung	7
2.2	Die Einteilung von Brennstoffzellensystemen	14
2.3	Geschichte der Kohlelektrode	18
2.3.1	Sauerstoff(Luft-)Elektroden in alkalischen Elektrolyten	18
2.3.2	Wasserstoffelektroden	19
2.3.3	Kohlelektroden für saure Elektrolyte	20
2.3.4	Polymer-Membranzellen	20
2.4	Die Konstruktion der Brennstoffzellen	21
2.4.1	Brennstoffbatterien für elektrische Fahrzeuge	21
2.4.2	Brennstoffzellen für stationäre Anlagen	22
3.	Theoretische Grundlagen	24
3.1	Die elektrochemische Energieumwandlung	24
3.1.1	Thermodynamik	24
3.1.2	Elektrochemische Grundgesetze	24
3.1.3	Elektroden-, „Polarisation“ bzw. -, „Überspannung“	25
3.1.4	Elektrodencharakteristik	28
3.1.5	Die Gasdiffusionselektrode	29
3.2	Die Wasserstoffelektrode	31
3.2.1	Der Reaktionsmechanismus	31
3.2.2	Die Wirksamkeit von Katalysatoren	32
3.2.3	Die Diffusions-Wasserstoffelektrode	33
3.3	Die Sauerstoff/Luftelektrode	36
3.3.1	Der Reaktionsmechanismus	36
3.3.2	Katalysatoren	38
3.3.2.1	Allgemeines	38
3.3.2.2	Poröse Kohlelektroden	38
3.3.2.3	Die Verbesserung von Katalysatoren	39
3.3.2.4	Die Kohle als Katalysatorträger	39
3.3.3	Die O ₂ -Diffusionsgaselektrode	39

4.	Laboratoriums-Testmethoden	47
4.1	Testzellen	47
4.2	Meßanordnungen	50
4.3	Testbedingungen	53
4.3.1	Alkalische Zellen	53
4.3.2	Saure Zellen	57
4.3.3	Versuche mit Überdruck	58
5.	Brennstoffe	60
5.1	Wasserstoff, H_2	60
5.2	Petroleumderivate	61
5.3	Methylalkohol, CH_3OH	63
5.4	Ammoniak, NH_3	64
5.5	Hydrazin, N_2H_4	65
6.	Materialien	67
6.1	Kohlenstoff	67
6.1.1	Der Graphitierungsprozeß	68
6.1.2	Methoden zur Bestimmung von Kohlestrukturen	69
6.1.3	Chemische Reaktionen	72
6.1.4	Arten von Kohlematerialien	74
6.1.5	Herstellung von Kohlebauteilen für die Industrie	83
6.1.6	Die Herstellung von Rußen	86
6.1.7	Aktivierungsprozesse für Kohlematerialien	87
6.1.8	Die Beschreibung spezieller Kohlematerialien	90
6.2	Polytetrafluoräthylen (PTFE)	92
6.2.1	PTFE als Dispersion	93
6.2.2	PTFE in Pulverform	93
6.3	Polyäthylene und Polypropylene (PE und PP)	94
6.4	Elektrolyte	94
6.4.1	Wässrige Elektrolyte	94
6.4.2	Membran-Elektrolyte	95
7.	Elektrodenteknologie	98
7.1	Einleitung und Übersicht	98
7.2	Konstruktion und Materialien für Elektroden	99
7.3	Die Elektroden der Union Carbide Corp. (UCC)	100
7.3.1	Überblick	100
7.3.2	Frühzeitige Ergebnisse der Forschung an Kohleelektroden	102
7.3.3	Die Konstruktion von bipolaren Brennstoffzellen	103
7.3.4	Die Entwicklung von Elektrokatalysatoren	103
7.3.5	Die Entwicklung von Elektroden mit mehreren Schichten	104
7.3.6	Elektroden für saure Elektrolyte	115
7.4	Die Elektroden der United Technologies Corp. (UTC)	117
7.4.1	Substrate	117
7.4.2	Elektrodenstrukturen	118

- 7.5 Die Elektroden der Energy Research Corp. (ERC) 119
- 7.6 Die Elektroden der Engelhard Corp. (EC) 120
- 7.7 Die Kohleelektroden anderer Hersteller 121
 - 7.7.1 „Kocite“ 121
 - 7.7.2 Prototech-Elektroden 121
 - 7.7.3 Diamond-Shamrock Corp., Painesville, Ohio 122
 - 7.7.4 ELTECH Systems Corp. 122
 - 7.7.5 Die Elektroden von Occidental Chemical Corp./Alsthom Cie. 122
 - 7.7.6 Die Kohleelektroden von ELENCO N.V. 123
 - 7.7.7 Die Elektrodenentwicklung in den Oststaaten (Überblick) 126
 - 7.7.8 Die Brennstoffzellentechnologie in Japan 126
- 7.8 Zusammenstellung der Fabrikationsmethoden für PTFE-gebundene Elektroden 127
 - 7.8.1 Allgemeine Angaben 127
 - 7.8.2 Spezifische Herstellungsvorschriften 129
 - 7.8.2.1 Die Elektrodenfabrikation aus gewalzten Schichten 129
 - 7.8.2.2 Die Herstellung von Elektroden im Preßverfahren 131
 - 7.8.2.3 Die Herstellung von „gespritzten“ Elektroden 135
- 8. **Brennstoffbatterien für den Fahrzeugantrieb 142**
 - 8.1 Problemstellung und Überblick 142
 - 8.2 Zellen mit alkalischen Elektrolyten 143
 - 8.2.1 Reiner Wasserstoff-Sauerstoff-Betrieb 143
 - 8.2.2 Hybridsystem: Wasserstoff-Luft- und Blei-Batterie 147
 - 8.2.3 Die Verwendung von Ammoniak als Brennstoff 154
 - 8.2.4 Fahrzeuge mit Hydrazin-Brennstoffbatterien 157
 - 8.2.5 Die Verwendung von Methanol als Brennstoff 159
 - 8.2.6 Die Verwendung von Kohlenwasserstoffen 159
 - 8.3 Zellen mit phosphorsauren Elektrolyten 159
 - 8.3.1 Reiner Wasserstoffbetrieb 159
 - 8.3.2 Wasserstoff aus Methanol durch Reformierung gewonnen 160
 - 8.4 Die Erstellung von Fahrzeugmodellen 161
 - 8.5 Die Solid-Polymer-Elektrolyt-(SPE-)Zellen 165
 - 8.6 Hochtemperaturzellen 167
- 9. **Stationäre Brennstoffzellen-Systeme 170**
 - 9.1 Zellen mit Phosphorsäure(Matrix)-Elektrolyt 170
 - 9.1.1 Das System der United Technologies Corp. (UTC) 170
 - 9.1.2 Das System der Westinghouse Electric Corp. (WE) 172
 - 9.1.3 Das System der Energy Research Corp. (ERC) 174
 - 9.1.4 Das System der Engelhard Corp. 176
 - 9.1.5 Die Brennstoffzellenaggregate der AEG-Telefunken 176
 - 9.2 Zellen mit Membran-Elektrolyt 177
 - 9.2.1 Die SPE-Zelle der General Electric Co. (GE) 177
 - 9.2.2 Die Membranzellen der Engelhard Corp. 181
 - 9.3 Zellen mit alkalischen Elektrolyten 181

9.3.1	Das System der Union Carbide Corp.	181
9.3.2	Electrochemische Energieconversie N.V. (ELENCO)	185
10.	Bibliographie	189
10.1	Bücher	189
10.2	Serien-Publikationen	190
10.3	Sammelreferate	191
Sachverzeichnis		193