

Brennstoffzellen-Technologie: Hoffnungsträger für den Klimaschutz

**Technische, ökonomische und ökologische Aspekte
ihres Einsatzes in Verkehr und Energiewirtschaft**

Von

Dr. Dagmar Oertel

und

Dipl.-Phys. Torsten Fleischer

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag

Forschungszentrum Karlsruhe
Technik und Umwelt



ERICH SCHMIDT VERLAG

Inhalt

Zusammenfassung	9
I. Einleitung	29
II. Zur Technologie der Brennstoffzelle	33
1. Begriff, Geschichte, Funktionsweise	33
2. Brennstoffzellen-Typen	38
2.1 Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen	40
2.2 Mitteltemperatur-Brennstoffzellen.....	44
2.3 Hochtemperatur-Brennstoffzellen.....	45
3. Brennstoffe und deren Aufbereitung.....	49
4. Besonderheiten ausgewählter Brennstoffe	57
III. Ökologische Bilanzierung - Methodik und Vorgehensweise	65
1. Ansatz und Vorgehensweise im Projekt.....	66
2. Gemeinsames Analyseraster für Brennstoffketten - Synopse wichtiger Annahmen	76
IV. Brennstoffzellen für mobile Anwendungen	85
1. Weltweite Entwicklungsanstrengungen	85
2. Antriebskonzepte für Straßenfahrzeuge	86
2.1 Antriebstechniken	86
2.2 Brennstoffzellen-Fahrzeuge.....	90
2.3 Akteure und Aktivitäten	92
3. Ökologische Bewertung von Brennstoffzellen-Antrieben für Personen-Kraftwagen	99
3.1 Vorgehensweise	99
3.2 Brennstoffzellen und konkurrierende Antriebe im Vergleich - eine ökologische Bewertung.....	105

4.	Neue Treibstoffe im Verkehr	121
4.1	Treibstoffe	122
4.2	Erfordernisse der Infrastruktur	125
5.	Wirtschaftliche Aspekte.....	130
6.	Fazit und Ausblick.....	132
V.	Brennstoffzellen in der stationären Energieversorgung	141
1.	Rahmenbedingungen der Energieversorgung in Deutschland.....	142
1.1	Aktuelle Emissionssituation	142
1.2	Liberalisierung der Energiemärkte	144
1.3	Kraft-Wärme-Kopplung	148
2.	Brennstoffzellen in der Hausenergieversorgung und im Kleinverbrauch	151
2.1	Relevante Brennstoffzellen-Typen	153
2.2	Brennstoffe und Brennstoffaufbereitung.....	155
2.3	Konventionelle Systeme zur Energiebereitstellung und ihre Verteilung im Gebäudebestand.....	160
2.4	Nutzerspezifische Determinanten der Auslegung und Implementierung von Anlagen	167
2.5	Vergleich von Brennstoffzellen- mit konventionellen Beheizungs-Systemen - technische Aspekte	171
2.6	Ökonomische Aspekte.....	181
2.7	Ökologische Aspekte	190
2.8	Künftige Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Anlagen.....	193
2.9	Fazit und Ausblick	207
3.	Brennstoffzellen in Industrie und öffentlicher Stromversorgung.....	215
3.1	Relevante Brennstoffzellen-Typen	215
3.2	Brennstoffe und ihre Aufbereitung	222
3.3	Konventionelle Energieumwandlungstechniken	226
3.4	Erfüllung von Nutzeranforderungen	229
3.5	Technische Aspekte	234
3.6	Ökonomische Aspekte.....	239
3.7	Ökologische Aspekte	243
3.8	Fazit und Ausblick	255

VI. Mini-Brennstoffzellen für tragbare Anwendungen	263
1. Relevante Brennstoffzellen-Typen.....	263
2. Brennstoffe und ihre Aufbereitung	265
3. Konventionelle Systeme	268
3.1 Batterien und Akkumulatoren.....	268
3.2 Konventionelle Alternativen zu Akkumulatoren.....	270
4. Nutzeranforderungen	270
5. Technische Aspekte.....	272
6. Ökonomische Aspekte.....	274
7. Ökologische Aspekte.....	276
8. Marktperspektiven.....	278
9. Fazit und Ausblick	279
Literatur	283
1. In Auftrag gegebene Gutachten	283
2. Weitere Literatur	283
Anhang	293
1. Ergänzende Tabellen	293
1.1 Brennstoffzellen im Überblick.....	293
1.2 Charakteristika ausgewählter konventioneller und alternativer Kraftstoffe.....	294
1.3 Spezifikationen der Fahrzeuge für die ökologische Bewertung: Basisdaten und Energieverbräuche	295
1.4 Konzeptübergreifende Fahrzeug-Spezifikationen und Fahrergewicht	296
1.5 Anzahl der beheizten Wohneinheiten in Deutschland nach Baualtersklassen für 1995 und 2010	297
1.6 Referenzobjekte Kleinverbrauch.....	298
1.7 Zusammenstellung der Ergebnisse (Stromerzeugungs- und CO ₂ - Einsparpotenziale) für den Kleinverbrauch	299
1.8 Referenzdaten PAFC-BHKW	300

Inhalt

1.9 Referenzdaten MCFC-KWK-Anlage, Status 2010, Brennstoff Erdgas	301
1.10 Referenzdaten SOFC-KWK-Anlage, Status 2010, Brennstoff Erdgas und Braunkohle	302
1.11 Referenzdaten Kraftwerke, Status 1998 und Status 2010	303
1.12 Referenzdaten Dampfturbinen-Heizkraftwerk (Kommunales Steinkohle-Dampfturbinen-Heizkraftwerk, Entnahme-Kondensation)	304
1.13 Referenzdaten Gasturbinen-HKW, Status 1998 und Status 2010	305
1.14 Referenzdaten GuD-HKW mit Entnahme-Kondensationsturbine Status 1998 und Status 2010	307
1.15 Referenzdaten Motor-HKW für Industrie und öffentliche Versorgung, Status 1998 und Status 2010	308
1.16 Kenndaten der KWK-Vergleichssysteme und Abschätzung der zulässigen BZ-Investitionen (Status 2010)	309
1.17 Kenndaten von Gaskraftwerken (Status 2010)	310
1.18 Gegenüberstellung von ausgewählten physikalischen, chemischen und Regelwerk-Kenndaten von Methanol und Ethanol	311
2. Tabellenverzeichnis	312
3. Abbildungsverzeichnis	314
4. Abkürzungen	317
Glossar	318