

Inhaltsverzeichnis

1 Mobilität im 21. Jahrhundert	13
1.1 <i>Ökologie als treibende Kraft</i>	14
1.1.1 Begrenzte Ressourcen und steigender Energieverbrauch	14
1.1.2 Klima- und Smogproblematik	17
1.2 <i>Politische Rahmenbedingungen</i>	20
1.2.1 Kyoto-Protokoll	20
1.2.2 Förderung verbrauchsgünstiger Autos in Deutschland	21
1.2.3 ZEV-Abgasgesetzgebung in Kalifornien	23
1.3 <i>Gesellschaftliche Herausforderungen</i>	24
1.3.1 Mobilität	24
1.3.2 Ökonomische Aspekte der Mobilität	26
<i>Zusammenfassung</i>	28
2 Fahrzeuge mit modifiziertem Verbrennungsmotor	29
2.1 <i>Biodieselfahrzeuge</i>	29
2.1.1 Modifikationen am Fahrzeug	29
2.1.2 Kraftstoffherstellung	30
2.1.3 Für und wider Biodiesel	31
2.2 <i>Erdgasfahrzeuge</i>	33
2.2.1 Modifikationen am Fahrzeug	33
2.2.2 Fahrzeugbeispiel	34
2.2.3 Marktchancen von Erdgasfahrzeugen	35
2.3 <i>Wasserstofffahrzeuge</i>	36
2.3.1 Modifikationen am Fahrzeug	36
2.3.2 Fahrzeugbeispiele	37
2.3.3 Marktchancen von Fahrzeugen mit Wasserstoff- Verbrennungsmotor	38
<i>Zusammenfassung</i>	39
3 Batterieelektrische Fahrzeuge	41
3.1 <i>Fahrzeugaufbau</i>	41
3.1.1 Elektromotoren	42
3.1.1.1 Grundlagen	44
3.1.1.2 Gleichstrommotor	46

Inhaltsverzeichnis

3.1.1.3 Drehstrommotoren	47
3.1.1.4 Geschalteter Reluktanzmotor	49
3.1.1.5 Bürstenloser Gleichstrommotor	50
3.1.2 Batteriesysteme und Energiespeicher	51
3.1.2.1 Grundlagen	52
3.1.2.2 Bleiakkumulator	53
3.1.2.3 Nickel-Cadmium-Batterie	54
3.1.2.4 Nickel-Metallhydrid-Batterie	55
3.1.2.5 Lithiumionen-Batterie	56
3.1.2.6 Hochtemperaturbatterien	56
3.1.3 Ladegeräte	58
3.1.4 Stromrichter	59
3.1.5 Kraftübertragung	61
3.1.6 Nebenaggregate	62
3.2 Fahrzeugbeispiele	62
3.2.1 Nutzfahrzeuge	62
3.2.2 Personenwagen	64
3.3 Marktchancen batterieelektrischer Fahrzeuge	65
3.3.1 Fahrleistung	66
3.3.2 Wirtschaftlichkeit	67
3.3.3 Emissionen und Primärenergieverbrauch	68
Zusammenfassung	69
4 Fahrzeuge mit Hybridantrieb	73
4.1 Strukturvarianten	73
4.1.1 Serieller Hybridantrieb	73
4.1.2 Paralleler Hybridantrieb	76
4.1.3 Mischformen	77
4.2 Komponenten	78
4.2.1 Energiewandler	78
4.2.2 Energiespeicher	79
4.2.2.1 Batterien	80
4.2.2.2 Hochenergiekondensatoren	80
4.2.2.3 Schwungräder	80
4.2.3 Getriebe	81
4.3 Betriebsstrategien	82
4.4 Fahrzeugbeispiele	83
4.5 Marktchancen von Hybridfahrzeugen	85
Zusammenfassung	86

5 Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzellensystem	89
5.1 Brennstoffzellen.....	89
5.1.1 Geschichte der Brennstoffzelle	90
5.1.2 Aufbau und Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle	92
5.1.3 Brennstoffzellentypen	93
5.1.3.1 Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle	95
5.1.3.2 Direkt-Methanol-Brennstoffzelle	99
5.1.3.3 Alkalische Brennstoffzelle	103
5.1.3.4 Phosphorsäure-Brennstoffzelle	104
5.1.3.5 Karbonatschmelzen-Brennstoffzelle	105
5.1.3.5 Oxidkeramische Brennstoffzelle	107
5.1.3.6 Regenerative Brennstoffzelle	108
5.1.4 Komponenten eines Polymer-Elektrolyt- Brennstoffzellenstacks	109
5.1.4.1 Polymermembran	109
5.1.4.2 Elektroden und Katalysatoren	111
5.1.4.3 Bipolarplatten	115
5.1.4.4 Wassermanagement	116
5.1.4.5 Brennstoffzellenstacks	117
5.1.5 Fertigungsverfahren	121
5.1.6 Thermodynamik einer Brennstoffzelle	122
5.1.6.1 Wirkungsgrad	122
5.1.6.2 Freie Enthalpie	124
5.1.6.3 Reaktionsenthalpie und reversibles Zellpotenzial .	125
5.1.6.4 Tatsächliche Zellspannung – Elektrodenkinetik ..	128
5.1.6.5 Stromstärke und Brennstoffverbrauch	131
5.1.6.6 Leistung einer Brennstoffzelle	133
5.2 Kraftstoffspeicher	134
5.2.1 Druckspeicher	135
5.2.2 Speicher für Flüssigwasserstoff	136
5.2.3 Metallhydridspeicher	137
5.2.4 Methanolspeicher	139
5.2.5 Vergleich der Speichersysteme	140
5.2.5.1 Speicherdichte	140
5.2.5.2 Energieverluste und Energiebilanz	142
5.2.5.3 Kosten	142
5.3 Systemtechnik	143
5.3.1 Versorgung mit reinem Wasserstoff und Luftsauerstoff	144
5.3.2 Wasserstofferzeugung aus Kohlenwasserstoffen	145

Inhaltsverzeichnis

5.3.2.1 Reformierung	145
5.3.2.2 Gasvorreinigung	148
5.3.2.3 Gasfeinreinigung	150
5.3.3 Kraftstoffrückführung	152
5.3.4 Wärmemanagement	152
5.3.5 Wasserkreisläufe	155
5.3.6 Stromaufbereitung	155
5.3.7 Ansprechverhalten	156
5.3.8 Wirkungsgrad	158
Zusammenfassung	159
6 Gewinnung und Nutzung von Kraftstoffen für Brennstoffzellenfahrzeuge	165
6.1 Kraftstoffherzeugung	165
6.1.1 Benzin- und Diesekraftstoffe	165
6.1.2 Gasförmiger und flüssiger Wasserstoff	167
6.1.3 Methanol	168
6.2 Kraftstoffverteilung	170
6.3 Thermodynamische Wirkungsgrade	171
6.3.1 Wirkungsgrad der Kraftstoffherzeugung	171
6.3.2 Wirkungsgrad der Kraftstoffverteilung	174
6.3.3 Wirkungsgrad der Kraftstoffnutzung	174
6.3.4 Wirkungsgrad der gesamten Energiekette	176
6.4 Schadstoffausstoß	177
6.4.1 Kohlenstoffoxide	177
6.4.2 Stickoxide	179
6.4.3 Giftige und krebserregende Stoffe	179
6.4.4 Geräusche	180
Zusammenfassung	181
7 Brennstoffzellen-Konzeptfahrzeuge	183
7.1 Personenwagen	183
7.1.1 Konzeptfahrzeuge mit Wasserstoffspeicher	183
7.1.2 Konzeptfahrzeuge mit Reformer	188
7.2 Nutzfahrzeuge	191
Zusammenfassung	194

Inhaltsverzeichnis

8 Der Markt für Brennstoffzellenfahrzeuge	195
8.1 <i>Forschungskooperationen und Interessengemeinschaften</i> ..	195
8.1.1 Strategien der Automobilhersteller	195
8.1.2 Aufbau einer Infrastruktur zur Kraftstoffversorgung ..	197
8.1.3 Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie	197
8.1.4 California Fuel Cell Partnership	198
8.2 <i>Vertriebsstrategien</i>	200
8.2.1 Wechselwirkungen mit anderen Anwendungen für die Brennstoffzelle	200
8.2.2 Vermarktung über Produktvorteile	202
8.2.3 Kostenentwicklung	203
8.3 <i>Szenarien zur Marktdurchdringung</i>	204
<i>Zusammenfassung</i>	206
9 Quellenangaben	209
9.1 <i>Literatur</i>	209
9.2 <i>Webseiten</i>	211
10 Fachbegriffe und Abkürzungen	213
11 Index	219

