

# Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge

Technik, Strukturen und Entwicklungen

Prof. Dr. Dietrich Naunin

Prof. Dr. Christian Bader  
PD Dr. Jan-Welm Biermann  
Dipl.-Ing. Thomas Brachmann  
Prof. Detlef Heinemann  
Dr. Eckard Karden  
Dr. Uwe Köhler  
Dr. Daniel Kok  
Dipl.-Ing. Roland Matthé  
Dipl.-Ing. Konstantin Neiß

Prof. Karl-Ernst Noreikat  
Dipl.-Ing. Servé Ploumen  
Dipl.-Ing. Walter Rau  
Dr. Erhard Schubert  
Dr. Engbert Spijker  
Dipl.-Ing. Peter Tzscheuschler  
Dipl.-Ing. Christian Vana  
Prof. Dr. Ulrich Wagner  
Dipl.-Ing. Hans-Peter Wandt

4. Auflage

Mit 166 Bildern und 8 Tabellen



Kontakt & Studium  
Band 255

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz  
Dipl.-Ing. Elmar Wippler

**expert**  **verlag**®

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1.</b>	<b>Elektrofahrzeuge seit 100 Jahren</b>	<b>1</b>
	D. Naunin	
<b>2.</b>	<b>Elektrofahrzeuge im Einsatz der letzten 15 Jahre</b>	<b>6</b>
	D. Naunin	
2.1	Der California Clean Air Act	6
2.2	Änderungen in der ZEV-Definition des California Clean Air Act	7
2.3	Die Entwicklungen in anderen Ländern	9
2.4	Abgeschlossene Praxisteste in Deutschland	11
2.5	Marktuntersuchungen	14
2.6	Elektrische Dreirad- und Zweiradfahrzeuge	15
2.6	Emissionen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen	17
<b>3.</b>	<b>Elektrische Antriebssysteme</b>	<b>20</b>
	D. Naunin	
3.1	Einführung: Von der Primärenergie zur Fahrenergie	20
3.2	Allgemeine Anforderungen an Elektromotoren in Elektrofahrzeugen	21
3.3	Drehmoment-, Drehzahl- und Leistungsanforderungen an Elektromotoren in Elektrofahrzeugen	22
3.4	Motortypen in einem Zentralmotor-System	23
3.5	Grundsätzlicher Aufbau und Steuerung der eingesetzten Motoren	24
3.6	Kostenvergleich	27
3.7	Radnabenmotor	28
3.8	Tandemmotor und Transaxle-Antrieb	30
3.9	Hybrid-Systeme	31
3.10	Zusammenfassung	32
<b>4.</b>	<b>Batterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge</b>	<b>34</b>
	U. Köhler	
4.1	Elektro- und Hybridfahrzeuge	34
4.2	Technische Anforderungen an Fahrzeugbatterien	34
4.3	Elektrochemische Energiespeichersysteme	35
4.3.1	Blei-Batterien (Pb/PbO <sub>2</sub> )	36
4.3.2	Nickel-Cadmium-Batterien (Ni/Cd)	39
4.3.3	Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH)	40
4.3.4	Natrium-Nickelchlorid (Na/NiCl <sub>2</sub> )	43
4.3.5	Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion)	46
4.4	Wirtschaftliche Aspekte für Elektro- und Hybridfahrzeugbatterien	48

<b>5.</b>	<b>Batteriemanagement mit Batterien und SuperCaps</b>	<b>49</b>
	D. Heinemann	
5.1	Anforderungen an Batteriemagementsysteme	49
5.2	Grundstruktur eines Batteriemagementsystems	50
5.3	Lade- und Entladesteuerung durch ein Batteriemagementsystem	52
5.3.1	Ladeverfahren	52
5.3.2	Tiefentladeüberwachung	53
5.3.3	Ladungsausgleich	54
5.4	Temperaturüberwachung und Temperierung	55
5.4.1	Temperaturverhalten	55
5.4.2	Temperierung mit Luft und Wasser	56
5.5	Ladezustandsbestimmung und Restreichweitenabschätzung	56
5.6	Energiemanagement mit SuperCaps zur Batterielebensdaueroptimierung	57
5.6.1	Einsatzgebiete von SuperCaps in Elektrostraßenfahrzeugen	57
5.6.2	Schaltungskonzepte	61
5.6.3	Betriebsstrategien für den Einsatz von SuperCaps	63
5.7	Zusammenfassung	64
<b>6.</b>	<b>Der Elektro-Hybrid – eine Übersicht zu einem erfolgversprechenden, alternativen Fahrzeugantrieb</b>	<b>65</b>
	J.-W. Biermann	
6.1	Ausgangssituation	65
6.2	Antriebsstrukturen	67
6.3	Betriebsstrategien	70
6.4	Fahrzeugbeispiele	73
6.5	Ausblick	76
<b>7.</b>	<b>Hybride Fahrzeugantriebe – Marktfähig nur mit Mehrwert ?</b>	<b>78</b>
	K.-E. Noreikat, K. Neiß	
7.1	Allgemeine Treiber für alternative Fahrzeugantriebe	78
7.2	Einfluss der Märkte	81
7.3	Mehrwertstrategie	83
7.4	Potenziale Diesel/Otto-Hybrid-Elektrofahrzeuge	85
7.5	Prototypen der DaimlerChrysler AG	86
7.6	Zusammenfassung	88
<b>8.</b>	<b>Strategien zum Energiemanagement in Hybridfahrzeugen</b>	<b>89</b>
	D. Kok, S. Ploumen, E. Spijker, E. Karden	
8.1	Einführung	89
8.2	Zukünftige Antriebskonzepte mit elektrischer Unterstützung	90
8.3	Energiemanagement	91
8.3.1	Funktionen des Energiemanagement-Systems	91
8.3.2	Energieversorgungs-Management (PSM)	93
8.3.3	Energieverteilungs-Management (PDM)	95
8.3.4	Rechnersimulationsmodelle	95

8.4	Energiespeichersysteme	95
8.4.1	Blei-Batterie	96
8.4.2	Nickel-Metallhydrid-Batterie	96
8.4.3	Lithium-Ionen-Batterie	96
8.4.4	Doppelschichtkondensatoren	97
8.5	Batteriemanagement	97
8.5.1	Batterieüberwachungsfunktionen bei konventionellen Antriebskonzepten	97
8.5.2	Batterieüberwachungsfunktionen für zukünftige Antriebskonzepte	97
8.6	Beispiel: Energiemanagement in einem Fahrzeug mit einem 14 V-Stopp/Start-System	98
8.6.1	Leistungsbereitschaftsmanagement (PSM) und Batterieüberwachung (BMS)	98
8.6.2	Batterielebensdauer	98
8.7	Beispiel: Energiemanagement in einem 42 V Mild Hybrid Fahrzeug	99
8.7.1	PSM mit Model Predictive Control (MPC)	100
8.7.2	Vergleich der PSM-Strategien	100
8.7.3	Batterielebensdauer	101
8.8	Zusammenfassung	101
<b>9.</b>	<b>Das Marktangebot von Hybrid-Elektrofahrzeugen</b>	<b>104</b>
<b>9.1</b>	<b>Toyota Prius</b>	<b>104</b>
	H. P. Wandt	
9.1.1	Innovative Fahrzeugangebote bei Toyota	104
9.1.2	Das Fahrzeuggrundkonzept des Prius	105
9.1.3	Die Hybrid-Komponenten	109
9.1.4	Marktakzeptanz	113
<b>9.2</b>	<b>Honda Civic Hybrid</b>	<b>114</b>
	Th. Brachmann	
9.2.1	Alternative Fahrzeugantriebe bei Honda	114
9.2.2	Fahrzeugkonzept des Honda Civic Hybrid	114
9.2.3	Hybridkomponenten	116
9.2.4	Marktakzeptanz	117
<b>10.</b>	<b>Brennstoffzellensysteme für mobile Anwendungen</b>	<b>118</b>
	E. Schubert	
10.1	Einleitung	118
10.2	Potenzial der Markteinführung von Brennstoffzellensystemen in Fahrzeugen	119
10.3	Elemente in Brennstoffzellensystemen für mobile Anwendungen	121
10.3.1	Gesamtsystembetrachtungen	121
10.3.2	Notwendigkeiten und Potenzial der Verbesserung der Brennstoffzelle	127
10.3.3	Wasserstoffspeicherung	128
10.4	Ausblick	129

<b>11.</b>	<b>Die Brennstoffzellenfahrzeuge HydroGen3 und Hy-wire</b>	<b>131</b>
	R. Matthé	
11.1	Einleitung	131
11.2	Das Brennstoffzellen-Antriebssystem	132
11.2.1	Das Brennstoffzellen-System	132
11.2.2	Das elektrische Antriebssystem	135
11.2.3	Das thermische System	136
11.2.4	Die Wasserstoff-Speicher	137
11.3	HydroGen3	140
11.3.1	Konzept	141
11.3.2	Leistungsdaten	141
11.3.3	Entwicklung, Erprobung und Validierung	142
11.3.4	Demonstrationsprogramme	143
11.4	Hy-wire	144
11.4.1	Konzept der Studien AUTonomy und Hy-wire	144
11.4.2	By-Wire-Technologie	145
11.4.3	Fahrzeug	146
11.5	Ausblick	147
<b>12.</b>	<b>Die Brennstoffzellenfahrzeuge NECAR, Sprinter und NEBUS</b>	<b>148</b>
	W. Rau	
12.1	Brennstoffzellen-Technologie in mobilen Anwendungen	148
12.2	Anforderungen an die Brennstoffzellen-Technologie aus der Sicht der Automobilhersteller	148
12.3	Historische Entwicklung	149
12.4	Demonstrationsflotten	151
12.4.1	Brennstoffzellen-Pkw F-Cell	152
12.4.2	Sprinter	152
12.4.3	Brennstoffzellen CITARO	153
12.5	Partnerschaften zur Erprobung von Wasserstoff im Verkehrsbereich	156
12.5.1	Clean Energy Partnership Berlin (CEP)	156
12.5.2	California Fuel Cell Partnership (CaFCP)	157
12.6	Ausblick	157
<b>13.</b>	<b>Elektrische Nutzfahrzeuge im Spannungsfeld zwischen Wunschtraum und Wirklichkeit</b>	<b>158</b>
	Ch. Bader	
13.1	Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb	158
13.2	Fahrzeuge mit hybridem Antrieb	165
13.3	Schlußbetrachtung	169

<b>14.</b>	<b>Der elektrische Antrieb im Omnibus: emissionsarmer Verkehr in städtischen Bereichen</b>	<b>170</b>
	Ch. Vana	
14.1	Historische Entwicklung	170
14.2	Batteriebusse	170
14.3	Schwerpunkt Trolleybusse	172
14.4	Erprobte Zentralmotoren und innovative Radnabenmotoren	174
14.5	Hybrid-Technologien im Busbau	177
14.6	Zukünftige Brennstoffzellentechnik	180
14.7	Fazit	180
<b>15.</b>	<b>Ganzheitliche Bewertung alternativer Kraftstoffe und innovativer Fahrzeugantriebe</b>	<b>182</b>
	U. Wagner	
15.1	Einleitung	182
15.2	Definitionen und Methoden	183
15.2.1	Bilanzraum und Versorgungspfade	183
15.2.2	Der Kumulierte Energieaufwand	183
15.2.3	Emissionsbilanzierung	184
15.3	Bereitstellung der Kraftstoffe	186
15.4	Nutzung in verschiedenen Antriebssystemen	187
15.5	Ergebnisse der Prozesskettenanalysen	189
<b>16.</b>	<b>Ausblick</b>	<b>194</b>
	D. Naunin	

## **Autorenverzeichnis**