

Inhalt

1	Einführung	13
2	Überblick Elektrofahrzeuge	17
2.1	Geschichte und grundsätzliche Bedeutung	17
2.2	Konstruktive Unterschiede zwischen Elektrofahrzeug und herkömmlichem Kraftfahrzeug	18
2.3	Die Vorteile des Elektroantriebs	21
2.4	Die Nachteile des Elektroantriebs	23
2.5	Vorgaben zur CO ₂ -Reduktion als Treiber für die Elektromobilität	24
2	Ausführungsformen von Elektrofahrzeugen in der Praxis	26
3.1	Elektro-Pkw	26
3.1.1	Reine Elektrofahrzeuge, Batterieelektrische Fahrzeuge	26
3.1.2	Elektrofahrzeuge mit Range Extender, Range Extended Electric Vehicle (REEV)	28
3.1.3	Hybridfahrzeuge, Hybrid Electric Vehicle (HEV)	29
3.1.3.1	Mikrohybrid	31
3.1.3.2	Mildhybrid	31
3.1.3.3	Vollhybrid	31
3.1.3.4	Plug-In-Hybride	32
3.1.3.5	Antriebsstruktur der Hybride	33
3.1.3.6	Hybridsysteme in der Formel 1	35
3.1.3.7	Brennstoffzellenfahrzeug	36
3.1.3.8	Funktion der Brennstoffzelle	37
3.1.3.9	Speicherung des Wasserstoffs im Fahrzeug	38
3.1.3.10	Wasserstoffversorgung	38
3.1.3.11	Wie wird der Wasserstoff produziert?	39
3.1.3.12	Beispiele Brennstoffzellenfahrzeuge	39
3.2	Elektrobusse	40
3.3	Elektro-Nutzfahrzeuge	41
3.4	Elektrofahrräder	42
3.4.1	Bauformen von Elektrofahrrädern	42
3.4.2	Reichweite von Elektrofahrrädern	45
3.5	Weitere Elektrofahrzeuge	46
3.5.1	Segway	46
3.5.2	Elektro-Motorräder	47
3.5.3	Elektro-Flugzeuge	48

	Grundlagen Kfz-Antriebe	49
4.1	Übersicht Antriebe	49
4.2	Verbrennungsmotor	49
4.2.1	Funktion Viertaktmotor	50
4.2.2	Leistung, Drehmoment und Verbrauch des Verbrennungsmotors	52
4.2.2.1	Energiebilanz und Berechnung des Wirkungsgrads aus dem spezifischen Verbrauch	54
4.2.2.2	Lastanhebung bei Hybridfahrzeugen	55
4.2.2.3	Berechnung der Motorleistung im Verbrauchskennfeld	57
	Elektrifizierter Antriebsstrang	58
5.1	Elektromotor	58
5.1.1	Anforderungen	58
5.1.2	Kurzbeschreibung Elektromotoren	59
5.1.3	Gleichstrommotor	59
5.1.4	Drehstrommotor	61
5.1.5	Betrieb von Drehstrommotoren in Elektrokraftfahrzeugen	64
5.1.6	Leistung und Drehzahl-Drehmomentverhalten der Elektroantriebe	66
5.1.7	Berechnungsgrundlagen für den Pkw-Elektroantrieb	68
5.1.7.1	Leistung des Antriebs und Leistung des Gesamtfahrzeugs	69
5.1.7.2	Zusammenhang Fahrzeuggeschwindigkeit und Motordrehzahl	70
5.1.7.3	Ermittlung der notwendigen Getriebeübersetzung	71
5.1.7.4	Berechnung der Antriebskraft des Fahrzeugs aus dem Drehmoment des Motors	72
5.1.7.5	Berechnung der Beschleunigung aus der Antriebskraft	74
5.2	Energiespeicher Akku	75
5.2.1	Grundlagen und Begriffe	75
5.2.2	Basiszelle Lithium-Ionen-Akku	76
5.2.3	Li-Ionen-Akku als Fahrzeugakku	78
5.2.3.1	Akkukapazität und Reichweite von Elektrofahrzeugen	81
5.2.3.2	Die Lebensdauer von Fahrzeugakkus	82
5.2.3.3	Das Batterie-Management-System (BMS)	83
5.2.3.4	Sicherheit der Fahrzeugakkus	84
5.2.4	Hersteller	85
5.2.5	Ausblick Weiterentwicklung Akkus	85
5.3	Leistungselektronik, Inverter	86

6	Laden und Ladeinfrastruktur	88
6.1	Grundlagen Akkuladen	88
6.1.1	Die Laderate	88
6.1.2	Kapazität des Akkus	89
6.1.2.1	Kapazität in Amperestunden (Ah)	89
6.1.2.2	Kapazität in Wattstunden (Wh) und Wirkungsgrad	89
6.1.3	Anforderungen beim Laden von Lithium-Ionen-Basiszellen	90
6.1.4	Laden von Li-Ionen-Fahrzeugakkus	91
6.2	Das Laden von Elektrofahrzeugen	92
6.2.1	Ladearten und Lademodi	93
6.2.2	Zusammenhang Ladeleistung/Ladedauer	95
6.2.3	Anschlüsse zum Laden: Steckverbindungen	96
6.2.4	Sicherheit beim Laden	98
6.3	Entwicklung der Ladeinfrastruktur	98
6.4	Weiterentwicklung von Ladekonzepten	100
6.4.1	Induktives Laden	100
6.4.2	Wechsellakku	101
6.4.3	Intelligentes Laden, Vehicle to Grid	102
6.4.4	Dichte von Ladestationen	103
7	Verbrauch und Reichweite von E-Fahrzeugen	104
7.1	Physikalische Grundlagen	104
7.1.1	Berechnungsgrößen	104
7.1.2	Berechnungsgleichungen für die Beschreibung der Fahrzeugbewegung	105
7.1.3	Energie und Verbrauch	107
7.1.4	Antriebskraft und Fahrwiderstände	108
7.2	Verbrauchssimulationen	110
7.2.1	Einflussgrößen	110
7.2.2	Leistung und Antriebskraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	111
7.2.3	Fahrwiderstände und Verbrauch	111
7.2.4	Einfluss der Rekuperation auf den Verbrauch	114
7.3	Verbrauch Elektrofahrzeuge im NEFZ	118
7.3.1	Der NEFZ-Fahrzyklus	118
7.3.2	NEFZ-Verbrauchssimulationen	121
7.3.3	Einfluss von Änderungen ausgewählter Konstruktionsparameter	125
7.3.4	NEFZ-Verbrauch bei Plug-In-Hybriden	127
7.3.5	Elektrische Reichweite (NEFZ)	130
7.3.6	Einfluss von Zusatzverbrauchern auf die Reichweite	131
7.3.6.1	Reichweitenverluste durch Heizen und Kühlen	131
7.3.6.2	Verbesserungsansätze für Heizung und Klimatisierung	133
7.3.7	Alternative Messzyklen und Übertragbarkeit der NEFZ-Messwerte auf reale Fahrsituationen	134
7.4	Schlussfolgerungen aus den Verbrauchsermittlungen	136

8	Strom für die Elektrofahrzeuge	137
8.1	Energieerzeugung	137
8.1.1	Primärenergiequellen	137
8.1.2	Der Strommix Deutschland	138
8.1.3	Erneuerbare Energien	141
8.1.3.1	Strom aus Photovoltaik-Anlagen	143
8.1.3.2	Windenergie	145
8.1.3.3	Strom aus Biomasse	147
8.1.3.4	Wasserkraft	149
8.2	Speicherung von Strom	150
8.2.1	Speichertechnologien	151
8.2.2	Beschreibung wichtiger Stromspeicher	152
8.2.2.1	Akkumulatoren	152
8.2.2.2	Pumpspeicherwerke	153
8.2.2.3	Erdgasspeicher	154
8.2.2.4	Power-to-Gas	155
9	Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen	159
9.1	Beurteilungsmöglichkeiten für eine Umweltbilanz	159
9.2	Herstellungs- und Verwertungsphase der E-Fahrzeuge	161
9.3	Nutzungsphase	161
9.3.1	Lärm	162
9.3.2	Luftschadstoffe	162
9.3.3	CO ₂ -Ausstoß als Maß für die Klimaschädlichkeit des Autoverkehrs	163
9.4	Ökobilanz der Mercedes-Benz-B-Klasse Electric Drive	165
10	Markt	167
10.1	Kostenvergleich Elektroautos - konventionelle Fahrzeuge	167
10.1.1	Anzusetzende Kosten	167
10.1.2	Vergleichsrechnung Elektrofahrzeug/Verbrennungsmotor-Fahrzeug	168
10.2	Angebot an Elektrofahrzeugen und Verbreitung	171
10.2.1	Verbreitung von Elektrofahrzeugen	171
10.2.2	Angebote Elektrofahrzeuge	174
10.2.2.1	Reine Elektro-Pkw	174
10.2.2.2	Plug-In-Hybride	181
10.2.2.3	Nutzfahrzeuge	183
10.2.2.4	Brennstoffzellenfahrzeuge	185
10.3	Staatliche Förderung	185
10.4	Schlussfolgerungen Markt	187

11	Mobilitätskonzepte mit Elektrofahrzeugen	188
11.1	Carsharing	188
11.1.1	car2go	188
11.1.2	DriveNow	190
11.1.3	Carsharing im ländlichen Raum	190
11.2	E-Taxis	191
11.3	Elektrobusse	192
11.4	Güterverkehr	193
11.4.1	Paketzustellung mit Elektrofahrzeugen	193
11.4.2	Elektro-Lkw	194
12	Förderung der Elektromobilität in Deutschland	195
12.1	Förderbereiche der Bundesministerien und Leuchtturmprojekte	195
12.2	Schaufenster für Elektromobilität	196
12.3	NPE-Fortschrittsbericht 2014	197
13	Schlussfolgerungen und Gesamtbeurteilung	199
13	Workshop Simulation	201
■	Glossar	207
■	Verzeichnis Bildquellen	211
■	Literatur	213
■	Index	217