

Inhalt

1	Einführung	15
2	Überblick Elektrofahrzeuge	19
2.1	Geschichte und grundsätzliche Bedeutung	19
2.2	Konstruktive Unterschiede zwischen Elektrofahrzeug und herkömmlichem Kraftfahrzeug	20
2.3	Die Vorteile des Elektroantriebs	23
2.4	Die Nachteile des Elektroantriebs	26
2.5	Vorgaben zur CO ₂ -Reduktion als Treiber für die Elektromobilität	27
3	Ausführungsformen von Elektrofahrzeugen in der Praxis	28
3.1	Elektro-Pkw	28
3.1.1	Reine Elektrofahrzeuge, Batterieelektrische Fahrzeuge	28
3.1.2	Elektrofahrzeuge mit Range Extender, Range Extended Electric Vehicle (REEV)	30
3.1.3	Hybridfahrzeuge, Hybrid Electric Vehicle (HEV)	31
3.1.3.1	Mikrohybrid	33
3.1.3.2	Mildhybrid	33
3.1.3.3	Vollhybrid	33
3.1.3.4	Plug-In-Hybride	34
3.1.3.5	Antriebsstruktur der Hybride	35
3.1.3.6	Hybridsysteme in der Formel 1	37
3.1.3.7	Brennstoffzellenfahrzeug	38
3.1.3.8	Funktion der Brennstoffzelle	39
3.1.3.9	Speicherung des Wasserstoffs im Fahrzeug	39
3.1.3.10	Wasserstoffversorgung	40
3.1.3.11	Wie wird der Wasserstoff produziert?	40
3.1.3.12	Beispiele Brennstoffzellenfahrzeuge	41
3.2	Elektrobusse	42
3.3	Elektro-Nutzfahrzeuge	42
3.4	Elektrofahrräder	43
3.4.1	Bauformen von Elektrofahrrädern	44
3.4.2	Reichweite von Elektrofahrrädern	46

3.5	Weitere Elektrofahrzeuge	47
3.5.1	Segway	47
3.5.2	Elektromotorräder	49
3.5.3	Elektroflugzeuge	50
4	Grundlagen Kfz-Antriebe	51
4.1	Übersicht Antriebe	51
4.2	Verbrennungsmotor	51
4.2.1	Funktion Viertaktmotor	52
4.2.2	Leistung, Drehmoment und Verbrauch des Verbrennungsmotors	54
4.2.2.1	Energiebilanz und Berechnung des Wirkungsgrads aus dem spezifischen Verbrauch	56
4.2.2.2	Lastanhebung bei Hybridfahrzeugen	57
4.2.2.3	Berechnung der Motorleistung im Verbrauchskennfeld	59
5	Elektrifizierter Antriebsstrang	60
5.1	Elektromotor	60
5.1.1	Anforderungen	61
5.1.2	Kurzbeschreibung Elektromotoren	61
5.1.3	Gleichstrommotor	61
5.1.4	Drehstrommotor	63
5.1.5	Betrieb von Drehstrommotoren in Elektrofahrzeugen	67
5.1.6	Leistung und Drehzahl-Drehmomentverhalten der Elektroantriebe	68
5.1.7	Berechnungsgrundlagen für den Pkw-Elektroantrieb	70
5.1.7.1	Leistung des Antriebs und Leistung des Gesamtfahrzeugs	71
5.1.7.2	Zusammenhang Fahrzeuggeschwindigkeit und Motordrehzahl	72
5.1.7.3	Ermittlung der notwendigen Getriebeübersetzung ..	73
5.1.7.4	Berechnung der Antriebskraft des Fahrzeugs aus dem Drehmoment des Motors	74
5.1.7.5	Berechnung der Beschleunigung aus der Antriebskraft	77
5.2	Energiespeicher Akku	78
5.2.1	Grundlagen und Begriffe	78
5.2.2	Basiszelle Lithium-Ionen-Akku	79
5.2.3	Li-Ionen-Akku als Fahrzeugakku	81
5.2.3.1	Akkukapazität und Reichweite von Elektrofahrzeugen	83
5.2.3.2	Die Lebensdauer von Fahrzeugakkus	85
5.2.3.3	Das Batterie-Management-System (BMS)	85
5.2.3.4	Sicherheit der Fahrzeugakkus	87

5.2.4	Hersteller	87
5.2.5	Ausblick Weiterentwicklung Akkus	88
5.3	Leistungselektronik, Inverter	89

6 Laden und Ladeinfrastruktur 91

6.1	Grundlagen Akkuladen	91
6.1.1	Die Laderate	92
6.1.2	Kapazität des Akkus	92
6.1.2.1	Kapazität in Amperestunden (Ah)	92
6.1.2.2	Kapazität in Wattstunden (Wh) und Wirkungsgrad ..	92
6.1.3	Anforderungen beim Laden von Lithium-Ionen-Basiszellen ..	93
6.1.4	Laden von Li-Ionen-Fahrzeugakkus	94
6.2	Das Laden von Elektrofahrzeugen	95
6.2.1	Ladearten und Lademodi	96
6.2.2	Zusammenhang Ladeleistung/Ladedauer	99
6.2.3	Anschlüsse zum Laden: Steckverbindungen	100
6.2.4	Sicherheit beim Laden	102
6.3	Entwicklung der Ladeinfrastruktur	102
6.4	Weiterentwicklung von Ladekonzepten	105
6.4.1	Induktives Laden	105
6.4.2	Wechselakku	106
6.4.3	Intelligentes Laden, Vehicle to Grid	107
6.4.4	Dichte von Ladestationen	108

7 Verbrauch und Reichweite von E-Fahrzeugen 109

7.1	Physikalische Grundlagen	109
7.1.1	Berechnungsgrößen	109
7.1.2	Berechnungsgleichungen für die Beschreibung der Fahrzeuggbewegung	110
7.1.3	Energie und Verbrauch	112
7.1.4	Antriebskraft und Fahrwiderstände	113
7.2	Verbrauchssimulationen	116
7.2.1	Einflussgrößen	116
7.2.2	Leistung und Antriebskraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	116
7.2.3	Fahrwiderstände und Verbrauch	117
7.2.4	Einfluss der Rekuperation auf den Verbrauch	120
7.3	Verbrauch Elektrofahrzeuge im NEFZ	124
7.3.1	Der NEFZ-Fahrzyklus	124
7.3.2	NEFZ-Verbrauchssimulationen	127
7.3.3	Einfluss von Änderungen ausgewählter Konstruktionsparameter	131
7.3.4	NEFZ-Verbrauch bei Plug-In-Hybriden	132
7.3.5	Elektrische Reichweite (NEFZ)	135
7.3.6	Einfluss von Zusatzverbrauchern auf die Reichweite	136

7.3.6.1	Reichweitenverluste durch Heizen und Kühlen	137
7.3.6.2	Verbesserungsansätze für Heizung und Klimatisierung	138
7.3.7	Alternative Messzyklen und Übertragbarkeit der NEFZ- Messwerte auf reale Fahrsituationen	139
7.4	Schlussfolgerungen aus den Verbrauchsermittlungen	141
8	Strom für die Elektrofahrzeuge	142
8.1	Energieerzeugung	142
8.1.1	Primärenergiequellen	142
8.1.2	Der Strommix Deutschland	143
8.1.3	Erneuerbare Energien	146
8.1.3.1	Strom aus Photovoltaik-Anlagen	148
8.1.3.2	Windenergie	150
8.1.3.3	Strom aus Biomasse	151
8.1.3.4	Wasserkraft	153
8.2	Speicherung von Strom	155
8.2.1	Speichertechnologien	156
8.2.2	Beschreibung wichtiger Stromspeicher	157
8.2.2.1	Akkumulatoren	157
8.2.2.2	Pumpspeicherwerke	158
8.2.2.3	Erdgasspeicher	159
8.2.2.4	Power-to-Gas	160
9	Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen	164
9.1	Beurteilungsmöglichkeiten für eine Umweltbilanz	164
9.2	Herstellungs- und Verwertungsphase der E-Fahrzeuge	166
9.3	Nutzungsphase	166
9.3.1	Lärm	167
9.3.2	Luftschadstoffe	167
9.3.3	CO ₂ -Ausstoß als Maß für die Klimaschädlichkeit des Autoverkehrs	168
9.4	Ökobilanz der Mercedes-Benz-B-Klasse Electric Drive	170
10	Markt	172
10.1	Kostenvergleich Elektroautos – konventionelle Fahrzeuge	172
10.1.1	Anzusetzende Kosten	172
10.1.2	Vergleichsrechnung Elektrofahrzeug/Verbrennungsmotor- Fahrzeug	173
10.2	Angebot an Elektrofahrzeugen und Verbreitung	176
10.2.1	Verbreitung von Elektrofahrzeugen	176
10.2.2	Angebote Elektrofahrzeuge	179
10.2.2.1	Reine Elektro-Pkw	180
10.2.2.2	Plug-In-Hybride	188

10.2.2.3 Nutzfahrzeuge	190
10.2.2.4 Brennstoffzellenfahrzeuge	192
10.3 Staatliche Förderung	193
10.4 Schlussfolgerungen Markt	195
11 Mobilitätskonzepte mit Elektrofahrzeugen	196
11.1 Carsharing	196
11.1.1 car2go	196
11.1.2 DriveNow	198
11.1.3 Carsharing im ländlichen Raum	199
11.2 E-Taxis	199
11.3 Elektrobusse	200
11.4 Güterverkehr	201
11.4.1 Paketzustellung mit Elektrofahrzeugen	201
11.4.2 Elektro-Lkw	203
12 Förderung der Elektromobilität in Deutschland	204
12.1 Förderbereiche der Bundesministerien und Leuchtturmprojekte	204
12.2 Schaufenster für Elektromobilität	206
12.3 NPE-Fortschrittsbericht 2014	206
13 Schlussfolgerungen und Gesamtbeurteilung	208
14 Workshop Simulation	210
■ Glossar	215
■ Verzeichnis Bildquellen	219
■ Literatur	221
■ Index	225