


# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Überblick Elektrofahrzeuge .....</b>	<b>17</b>
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 <sub>2</sub> -Reduktion als Treiber für die Elektromobilität .....	24
<b>2</b>	<b>Ausführungsformen von Elektrofahrzeugen in der Praxis ....</b>	<b>26</b>
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

	<b>Grundlagen Kfz-Antriebe .....</b>	<b>49</b>
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
	<b>Elektrifizierter Antriebsstrang .....</b>	<b>58</b>
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 Elektrofahrzeugen .....	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

<b>6</b>	<b>Laden und Ladeinfrastruktur</b>	<b>88</b>
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	Wechselakku	101
6.4.3	Intelligentes Laden, Vehicle to Grid	102
6.4.4	Dichte von Ladestationen	103
<b>7</b>	<b>Verbrauch und Reichweite von E-Fahrzeugen</b>	<b>104</b>
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

<b>8</b>	<b>Strom für die Elektrofahrzeuge .....</b>	<b>137</b>
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
<b>9</b>	<b>Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen .....</b>	<b>159</b>
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 <sub>2</sub> -Ausstoß als Maß für die Klimaschädlichkeit des Autoverkehrs .....	163
9.4	Ökobilanz der Mercedes-Benz-B-Klasse Electric Drive .....	165
<b>10</b>	<b>Markt .....</b>	<b>167</b>
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

<b>11</b>	<b>Mobilitätskonzepte mit Elektrofahrzeugen .....</b>	<b>188</b>
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
<b>12</b>	<b>Förderung der Elektromobilität in Deutschland .....</b>	<b>195</b>
12.1	Förderbereiche der Bundesministerien und Leuchtturmprojekte .....	195
12.2	Schaufenster für Elektromobilität .....	196
12.3	NPE-Fortschrittsbericht 2014 .....	197
<b>13</b>	<b>Schlussfolgerungen und Gesamtbeurteilung .....</b>	<b>199</b>
<b>13</b>	<b>Workshop Simulation .....</b>	<b>201</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>207</b>
	<b>Verzeichnis Bildquellen .....</b>	<b>211</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>213</b>
	<b>Index .....</b>	<b>217</b>