

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Elektrofahrzeuge .....</b>	<b>11</b>
1.1	Eisenbahn.....	12
1.2	E-Bikes.....	13
1.3	Elektro-Scooter .....	15
1.4	Elektronutzfahrzeuge .....	16
1.5	Oberleitungsbusse.....	17
1.6	Experimentelle Fahrzeuge .....	19
1.7	Elektroautos.....	20
1.8	Hybridfahrzeuge .....	22
1.9	EU-Fahrzeugklassen.....	24
1.10	Elektroantriebe und Nachhaltigkeit .....	25
<b>2</b>	<b>Energiehaushalt .....</b>	<b>27</b>
2.1	Wirkungsgrade.....	28
2.1.1	Wirkungsgrade des Verbrennungsmotors.....	30
2.1.2	Wirkungsgrad des Elektromotors.....	37
2.1.3	Getriebe und Wirkungsgrad.....	42
2.1.4	Batterie und Leistungselektronik.....	44
2.1.5	Wirkungsgrad des Stromnetzes.....	45
2.2	Rekuperationsenergie .....	52
2.3	Temperatureinfluss .....	54
2.4	Physik der Bewegung .....	57
2.4.1	Beschleunigung und Geschwindigkeit.....	58
2.4.2	Kraft und Drehmoment .....	60
2.4.3	Einfluss auf den Kraftbedarf .....	63
2.4.4	Leistung und Arbeit.....	67
2.4.5	Getriebe .....	73
2.5	Einfluss zusätzlicher Verbraucher .....	81
2.6	Restreichweitenkalkulation.....	82
2.6.1	Bedeutung der Restreichweitenkalkulation .....	83
2.6.2	Programmierung einer Restreichweitenkalkulation.....	84
2.7	Ökologische Aspekte .....	84
2.7.1	Emissionen im Straßenverkehr.....	84
2.7.2	Lärmbelastung durch den Straßenverkehr.....	86
2.7.3	Rohstoffbedarf in der Fertigung .....	87
2.7.4	Wartungsintervalle.....	87
<b>3</b>	<b>Leistungselektronik für Elektrofahrzeuge.....</b>	<b>89</b>
3.1	Bauelemente der Leistungselektronik .....	90
3.1.1	Diode.....	90

3.1.2	Leistungsdiode .....	94
3.1.3	Bipolare Transistoren .....	95
3.1.4	Transistorgrundschaltungen .....	103
3.1.5	Transistor als Schalter.....	115
3.1.6	Bipolarer Leistungstransistor .....	125
3.1.7	Leistungs-MOSFET.....	126
3.2	Integrierte Transistorschaltungen.....	130
3.2.1	Thyristoren.....	130
3.2.2	TRIAC .....	135
3.2.3	DIAC.....	140
3.2.4	IGBT .....	142
3.3	Beanspruchung im Fahrzeugbau .....	144
3.3.1	Mechanische Belastungen .....	144
3.3.2	Thermische Wechsellasten.....	144
3.4	Systeme im Elektroauto .....	148
3.4.1	Hochsetzsteller .....	150
3.4.2	Tiefsetzsteller .....	153
3.4.3	Ungünstige Betriebszustände bei Gleichstromstellern .....	155
3.4.4	Gleichrichterschaltung .....	156
3.4.5	Vierquadrantensteller .....	165
3.4.6	Wechselrichter .....	170
3.5	Regelungstechnik .....	174
3.5.1	Der Regelkreis .....	175
3.5.2	Reglertypen.....	176
<b>4</b>	<b>Elektrische Antriebsmotoren.....</b>	<b>181</b>
4.1	Grundlagen des Elektromagnetismus.....	181
4.1.1	Magnetisches Feld .....	182
4.1.2	Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters .....	183
4.1.3	Magnetfeld einer Spule .....	185
4.1.4	Grundgrößen des Elektromagnetismus .....	185
4.1.5	Spule mit Kern .....	187
4.1.6	Wirbelströme und Skin-Effekt.....	189
4.1.7	Induktion .....	189
4.1.8	Gegeninduktion – Lenz'sche Regel.....	192
4.1.9	Selbstinduktion .....	192
4.1.10	Hall-Effekt .....	194
4.1.11	Das Motorprinzip .....	194
4.1.12	Drehbare Spule im Magnetfeld.....	197
4.2	Gleichstrommotor .....	199
4.2.1	Aufbau .....	199
4.2.2	Motor oder Generator.....	203
4.2.3	Fremd erregte Maschine.....	206
4.2.4	Reihenschlussmaschine und Universalmaschine .....	207
4.2.5	Nebenschlussmaschine .....	210

4.2.6	Doppelschlussmaschine .....	212
4.2.7	Permanent erregte Maschine.....	213
4.2.8	Drehrichtung beim Gleichstrommotor .....	213
4.2.9	Anlassen eines Gleichstrommotors .....	214
4.3	Synchronmaschinen .....	216
4.3.1	Aufbau und Prinzip .....	217
4.3.2	Synchrongenerator.....	219
4.3.3	Synchronmotor .....	220
4.3.4	Permanent erregte Synchronmotoren .....	223
4.3.5	Fremd erregte Synchronmotoren .....	223
4.3.6	Bürstenloser Gleichstrommotor.....	224
4.4	Asynchronmotoren .....	225
4.4.1	Aufbau und Grundprinzip .....	226
4.4.2	Stromverdrängungsläufer.....	230
4.4.3	Anlauf des Asynchronmotors .....	232
4.4.4	Drehzahlregelung bei der Asynchronmaschine.....	236
4.4.5	Betriebszustände der Asynchronmaschine.....	240
4.4.6	Drehrichtungsänderung .....	240
4.4.7	Spezielle Schaltungen bei Asynchronmaschinen .....	242
4.5	Berechnung der Anlaufzeit .....	243
4.6	Betriebsarten und Belastbarkeit.....	244
4.6.1	Dauerbetrieb .....	247
4.6.2	Kurzzeitbetrieb.....	247
4.6.3	Aussetzbetrieb .....	248
4.6.4	Durchlaufbetrieb .....	248
4.7	International Protection Code.....	249
4.8	Bauformen .....	251
<b>5</b>	<b>Ladestecker und Fahrzeugkabel.....</b>	<b>253</b>
5.1	Querschnitte .....	254
5.2	Mantelstruktur und Werkstoffe.....	256
5.3	Sicherheit und Hochvoltkabel im Auto .....	258
5.4	Ladekabel .....	259
5.4.1	Anforderungen an das Ladekabel.....	260
5.4.2	Lademodi und Steckertypen.....	262
5.4.3	In Cable Control Box.....	267
5.4.4	Stark- und Signalstrom .....	268
<b>6</b>	<b>Batterietechnik.....</b>	<b>275</b>
6.1	Struktur einer Batterie .....	275
6.1.1	Kirchhoff'sche Sätze in der Batterietechnik .....	276
6.1.2	Problem: Fertigungstoleranzen.....	278
6.1.3	Batteriemanagement .....	279
6.1.4	Klimatisierung.....	282
6.2	Begriffe .....	283

6.2.1	Nennkapazität .....	284
6.2.2	Stromangaben .....	284
6.2.3	Spannungsangaben .....	285
6.2.4	Energiedichte.....	286
6.2.5	Leistungsdichte .....	286
6.2.6	Primär- und Sekundärzelle .....	287
6.2.7	Weitere Begriffe .....	287
6.3	Batterietechnologien.....	288
6.3.1	Blei- und Bleigelbatterien.....	291
6.3.2	Lithium-Batterien .....	293
6.3.3	Forschung und Ausblicke .....	296
6.4	Brennstoffzelle.....	301
6.4.1	Wasserstoff.....	302
6.4.2	Methan und Methanol.....	303
6.4.3	Brennstoffzelle und volatile Energien .....	304
6.5	Ladeverfahren .....	306
6.5.1	Konstantspannungsverfahren .....	306
6.5.2	Konstantstromverfahren.....	307
6.5.3	Pulsladung.....	308
6.5.4	CCCV- / IU-Verfahren .....	309
6.6	Drahtlose Ladetechnik .....	310
6.6.1	Transformator .....	310
6.6.2	Tesla-Transformator .....	314
6.7	Fahrzeugdesign.....	316
<b>7</b>	<b>Unfallverhütung/Bergung von Elektroautos .....</b>	<b>319</b>
7.1	Fünf Sicherheitsregeln .....	319
7.1.1	Freischalten .....	320
7.1.2	Gegen Wiedereinschalten sichern .....	320
7.1.3	Spannungsfreiheit feststellen .....	320
7.1.4	Erden und kurzschließen.....	320
7.1.5	Unter Spannung stehende Teile abdecken .....	320
7.2	Den Fahrzeugtyp erkennen.....	321
7.3	Signalfarbe Orange .....	322
7.4	Gefahr, wenn es schnell gehen muss .....	323
7.5	Schutzausrüstung .....	324
7.6	Brennende Elektroautos.....	326
7.7	Abschleppen eines Elektroautos .....	326
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>329</b>