

<b>1</b>	<b>Geschichte der Elektrofahrräder</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche Bestimmungen und Sicherheit</b>	<b>13</b>
2.1	Definitionen	13
2.2	Unterteilung der E-Bikes	13
2.2.1	Pedelec 25	14
2.2.2	Pedelec 45 (S-Pedelec)	15
2.3	Lichtanlage, Beleuchtung	16
2.4	Gesetzliche Bestimmungen in Österreich	17
2.5	Gesetzliche Bestimmungen in der Schweiz	17
2.6	Maschinenrichtlinie	17
2.7	CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung	18
2.8	Bauteiletausch	19
2.9	Manipulationen	19
2.9.1	Technische Konsequenzen	19
2.9.2	Rechtliche Konsequenzen	19
2.10	Tuning	20
2.11	Selbststabilisierende Fahrzeuge	20
2.11.1	Segways	20
2.11.2	Elektroboards	21
2.11.3	Elektrisches Einrad, Tretroller	22
<b>3</b>	<b>Systemvergleich unterschiedlicher Motoren</b>	<b>23</b>
3.1	Verbrennungsmotor	23
3.2	Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine	24
3.3	Muskelmotor	24
3.4	Elektromotor	27
3.5	Vergleich E-Motor und Verbrennungsmotor	27
3.6	Hybridantrieb	28
<b>4</b>	<b>Die Mechanik des Fahrrades</b>	<b>30</b>
4.1	Übersetzungen und geometrische Verhältnisse	30
4.2	Fahrwiderstände	32
4.3	Leistungsbedarf	36
4.4	Wirkungsgrade	39
<b>5</b>	<b>Antriebskonzepte</b>	<b>46</b>
5.1	Nabenantrieb	47
5.1.1	Vorderrad-Nabenantrieb	47
5.1.2	Hinterrad-Nabenantrieb	48
5.2	Tretlagerantrieb	49
5.3	Sitzrohrantrieb	51
5.4	Nachrüstmöglichkeiten	52
5.4.1	Reibrad-/Reibrollenantrieb	53
5.4.2	Bausatz-Radnabenantrieb	54
5.4.3	Bausatz-Tretlagerantrieb	55
5.4.4	Individuelle Antriebslösungen	56
5.5	Rekuperation und Freilaufsysteme	57
5.6	Antriebstuning	59
5.6.1	Physikalische Zusammenhänge	59
5.6.2	Gängige Tuning-Hilfsmittel	60
<b>6</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik</b>	<b>61</b>
6.1	Elektrischer Strom	61
6.1.1	Spannung	61
6.1.2	Strom	61
6.1.3	Stromarten	62
6.1.4	Elektrischer Widerstand	62
6.1.5	Elektrische Arbeit	63
6.1.6	Elektrische Leistung	63
6.1.7	Wirkungsgrad	63
6.1.8	Kondensator	64

<b>6.2</b>	Magnetische Grundlagen	65
6.2.1	Dauermagnetismus	65
6.2.2	Elektromagnetismus	66
6.2.3	Elektromotorisches Prinzip	67
6.2.4	Generatorprinzip: Induktion	68
6.2.5	Lenz'sche Regel	68
6.2.6	Transformator	69
6.2.7	Selbstinduktion	69
6.2.8	Induktivität	70
<b>6.3</b>	Elektronische Bauelemente	70
6.3.1	Diode	70
6.3.2	Transistor	72
6.3.3	Hallsensor, GMR-Sensor	75
<b>7</b>	<b>Elektromotor und Antriebssteuerung</b>	76
7.1	Wirkungsgrad	76
7.2	Physikalische Grundlagen	76
7.3	Funktionsweise von Elektromotoren	78
7.4	Motoroptimierung	79
7.4.1	Bürstenlose Motoren	80
7.4.2	3-Phasen-Steuerung	84
7.5	Kommutierung	86
7.5.1	Sensorkommutierung	86
7.5.2	Sensorlose Kommutierung	86
7.6	Drehzahlsteuerung	87
7.6.1	Rekuperationssteuerung	88
7.7	Motor-Betriebsbereiche	88
7.8	Antriebssteuerung	91
7.8.1	Drehgriffsensor	91
7.8.2	Pedalsensor	91
7.8.3	Drehmomentsensor	92
7.9	Zusammenwirken von Mensch und Motor	94
7.10	Steuerelektronik (Controller)	94
<b>8</b>	<b>Akkumulatoren (Akkus)</b>	99
8.1	Grundlagen	100
8.1.1	Der Ionenstrom	100
8.1.2	Der Lösungsdruck – die treibende Kraft	103
8.2	Bauarten elektrochemischer Zellen	105
8.3	Elektrische Grundbegriffe in der Batterietechnik	108
8.3.1	Zellenspannung und Innenwiderstand	108
8.3.2	Kapazität und Stromrate	110
8.3.3	Energie, Leistung und Wirkungsgrad	110
8.3.4	Temperaturverhalten und Selbstentladung	112
8.3.5	Zyklenzahl, Alterung und Lagerung	113
8.3.6	Ladeverfahren	114
8.3.7	Verbinden von Zellen zu Batterien	115
8.4	Bleiakkus	116
8.5	Alkalische Akkus	119
8.6	Lithium-Ionen-Akkus	122
8.7	Akkupraxis	130
8.7.1	Akku-„Fitness“	130
8.7.2	Akkupflege	133
8.8	Akkusicherheit	134
8.8.1	Typische Gefahrenquellen	135
8.8.2	Brandschutzvorkehrungen	137
8.8.3	Entsorgung	138
8.9	Ladegeräte	138
8.9.1	Ladeüberwachung	139
8.10	Ausblicke	140

<b>9</b>	<b>Bedienelemente und Kommunikation</b>	<b>143</b>
9.1	Bedienelemente	143
9.2	Automatisches Schalten	144
9.3	Navigation	146
9.4	Fitness	147
9.5	Smartphone-Funktion	147
9.6	Unterstützungsstufe	147
9.7	Shift-Sensor	149
9.8	Climb-Assist	149
9.9	Reichweite	150
9.10	Wirtschaftlich Pedelec fahren	150
9.11	CAN-BUS	151
9.11.1	Allgemeines	151
9.11.2	Geschichtliches	152
9.11.3	Funktionsprinzip	152
9.11.4	Informationstechnische Grundlagen	153
9.11.5	Protokolle und Botschaften	156
9.11.6	Zugriffsverfahren	158
9.11.7	Merkmale von EnergyBus-Systemen	158
<b>10</b>	<b>Leistungsprüfstand</b>	<b>161</b>
10.1	Modell eines Leistungsprüfstandes	161
10.2	Prinzip des Leistungsprüfstandes	162
10.3	Geschwindigkeitsregelung	163
10.4	Steuerungsstrategie	163
10.5	Bestimmung der Reichweite	164
10.6	Kraft-, Energie- und Leistungsbedarf beim Straßenversuch	166
<b>11</b>	<b>Bauarten</b>	<b>168</b>
11.1	Trekkingbike	168
11.2	Citybike	168
11.3	Urbanbike	168
11.4	MTB	169
11.5	Rennrad	169
11.6	Kinderrad	169
11.7	Faltrad/Kompaktrad	169
11.8	E-Tandem	169
11.9	E-Fatbike	170
11.10	E-Lastenrad	170
11.11	E-Dreirad	171
11.12	Sonderbauarten	171
<b>Anhang</b>		
A1	Berechnung der Reichweite	173
A2	Fachbegriffe	174
A3	Fehlercodes	182
A4	Bauteiletausch Pedelec 25 und Pedelec 45	183
A5	Fahrzeugeinstufung nach EU-Recht	185
A6	CE-Kennzeichnung, Konformität	186
A7	Checkliste für den Pedelec-Kauf	187
A8	Formelsammlung	189
<b>Literaturverzeichnis</b>		
<b>Bild- und Firmenverzeichnis</b>		
<b>Sachwortverzeichnis</b>		