

1	Geschichte der Elektrofahrräder	7
2	Rechtliche Bestimmungen und Sicherheit	13
2.1	Definitionen	13
2.2	Unterteilung der E-Bikes	13
2.2.1	Pedelec 25, Pedal Electric Cycle	14
2.2.2	Pedelec 45 (S-Pedelec)	15
2.2.3	Elektro-Leichtmofas	16
2.3	Lichtanlage	17
2.4	Gesetzliche Bestimmungen in Österreich (Auszug)	17
2.5	Gesetzliche Bestimmungen in der Schweiz (Auszug)	17
2.6	Maschinenrichtlinie und EN-Norm	18
2.7	CE-Kennzeichnung und	18
2.8	Bauteiletausch	19
2.9	Manipulationen	19
2.9.1	Technische Konsequenzen	19
2.9.2	Rechtliche Konsequenzen	20
2.10	Tuning	20
2.11	Elektro-Kleinstfahrzeuge	21
2.11.1	E-Scooter	21
2.11.2	Segway	23
2.11.3	Elektroboard, Hoverboard	23
2.11.4	Elektrisches Einrad	24
3	Systemvergleich unterschiedlicher Motoren	25
3.1	Verbrennungsmotor	25
3.2	Muskelmotor	26
3.3	Elektromotor	29
3.4	Vergleich E-Motor und Verbrennungsmotor	30
3.5	Hybridantrieb	31
4	Mechanik	33
4.1	Übersetzungen	33
4.2	Fahrwiderstände	35
4.3	Leistung und Drehmoment	39
4.4	Bremsen	42
4.5	Radgröße	43
4.6	Wirkungsgrade	44
5	Getriebe	50
5.1	Reibradgetriebe	51
5.2	Zahnradgetriebe	52
5.3	Riemengetriebe	54
5.4	Wellgetriebe	56
6	Antriebskonzepte	59
6.1	Nabenantrieb	60
6.1.1	Vorderrad-Nabenantrieb	60
6.1.2	Hinterrad-Nabenantrieb	61
6.2	Tretlagerantrieb	62
6.3	Integrierte Motor-Getriebe-Einheit	64
6.4	Nachrüstmöglichkeiten	65
6.4.1	Reibrad-/Reibrollenantrieb	65
6.4.2	Bausatz-Radnabenantrieb	67
6.4.3	Bausatz-Tretlagerantrieb	68
6.4.4	Individuelle Antriebslösungen	69
6.5	Rekuperation und Freilaufsysteme	70
6.6	Antriebstuning	72
7	Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik	74
7.1	Elektrischer Strom	74

7.1.1	Spannung	74
7.1.2	Strom	74
7.1.3	Stromarten	75
7.1.4	Elektrischer Widerstand	75
7.1.5	Elektrische Arbeit	76
7.1.6	Elektrische Leistung	76
7.1.7	Wirkungsgrad	76
7.1.8	Kondensator	77
7.2	Magnetische Grundlagen	78
7.2.1	Dauermagnetismus	79
7.2.2	Elektromagnetismus	79
7.2.3	Elektromotorisches Prinzip	80
7.2.4	Generatorprinzip: Induktion	81
7.2.5	Lenz'sche Regel	81
7.2.6	Transformator	82
7.2.7	Selbstinduktion	82
7.2.8	Induktivität	83
7.3	Elektronische Bauelemente	83
7.3.1	Diode	83
7.3.2	Transistor	85
7.3.3	Hallsensor, GMR-Sensor	88
8	Elektromotor und Antriebssteuerung	89
8.1	Wirkungsgrad	89
8.2	Physikalische Grundlagen	89
8.3	Funktionsweise von Elektromotoren	91
8.4	Motoroptimierung	92
8.4.1	Bürstenlose Motoren	94
8.4.2	3-Phasen-Steuerung	99
8.5	Kommutierung	101
8.5.1	Sensorkommutierung	101
8.5.2	Sensorlose Kommutierung	101
8.5.3	Feldorientierte Steuerung	102
8.5.4	Vektorsteuerung	103
8.6	Drehzahlsteuerung	104
8.7	Rekuperationssteuerung	105
8.8	Motor-Betriebsbereiche	106
8.9	Antriebssteuerung	108
8.9.1	Drehgriffsensor	108
8.9.2	Pedalsensor	109
8.9.3	Drehmomentsensor	110
8.10	Zusammenwirken	112
8.11	Steuerelektronik	113
8.12	Effizienzverbesserung	116
9	Akkumulatoren (Akkus)	117
9.1	Grundlagen	118
9.1.1	Der Ionenstrom	118
9.1.2	Der Lösungsdruck – die treibende Kraft	120
9.2	Bauarten elektrochemischer	122
9.3	Elektrische Grundbegriffe in der Batterietechnik	124
9.3.1	Zellenspannung und Innenwiderstand	124
9.3.2	Kapazität und Stromrate	126
9.3.3	Energie, Leistung und Wirkungsgrad	126
9.3.4	Temperaturverhalten und Selbstentladung	128
9.3.5	Zyklenzahl, Alterung und Lagerung	129
9.3.6	Ladeverfahren	130
9.3.7	Verbinden von Zellen zu Batterien	131
9.4	Bleiakkus	132
9.5	Alkalische Akkus	134

9.6	Lithium-Ionen-Akkus	137
9.7	Akkupraxis	143
9.7.1	Akku-„Fitness“	143
9.7.2	Akkupflege	146
9.8	Akkusicherheit	148
9.8.1	Typische Gefahrenquellen	149
9.8.2	Brandschutzvorkehrungen	151
9.8.3	Entsorgung	151
9.9	Akkuanbringung	152
9.10	Ladegerätetechnik	153
9.10.1	Ladeüberwachung	154
9.11	Ausblicke	156
10	Bedienelemente und Kommunikation	158
10.1	Bedienelemente	158
10.2	Automatisches Schalten	159
10.3	Navigation	161
10.4	Smartphone-Funktion	162
10.5	Elektronische Diebstahlsicherung	162
10.6	Automatische Fahrwerkseinstellung	162
10.7	ABS	162
10.8	Unterstützungsstufe	163
10.9	Shift-Sensor	165
10.10	Climb Assist	165
10.11	Elektronisches Schaltsystem	166
11	Reichweite	169
12	CAN-Bus	172
12.1	Allgemeines	172
12.2	Geschichtliches	173
12.3	Funktionsprinzip	173
12.4	Informationstechnische Grundlagen	174
12.5	Protokolle und Botschaften	176
12.6	Zugriffsverfahren	177
12.7	Merkmale von EnergyBus-Systemen	177
13	Leistungsprüfstand	179
13.1	Modell eines Leistungsprüfstandes	179
13.2	Prinzip des Leistungsprüfstandes	180
13.3	Geschwindigkeitsregelung	181
13.4	Steuerungsstrategie	182
13.5	Bestimmung der Reichweite	182
13.6	Kraft-, Energie- und Leistungsbedarf beim Straßenversuch	184
14	Bauarten	186
15	Fachbegriffe	191
16	Formelsammlung	200
17	Anhang	215
A1	Fehlercodes	215
A2	Fahrzeugeinstufung nach EU-Recht	216
A3	CE-Kennzeichnung und Konformität von Pedelecs	217
A4	Checkliste für den Pedelec-Kauf	218
Literaturverzeichnis		220
Bildquellenverzeichnis		221
Sachwortverzeichnis		223