

| | | |
|----------|---|-----------|
| 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 | 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 |
| 3 | Systemvergleich unterschiedlicher Motoren | 23 |
| 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 |
| 4 | Die Mechanik des Fahrrades | 30 |
| 4.1 | Übersetzungen und geometrische Verhältnisse | 30 |
| 4.2 | Fahrwiderstände | 32 |
| 4.3 | Leistungsbedarf | 36 |
| 4.4 | Wirkungsgrade | 39 |
| 5 | Antriebskonzepte | 46 |
| 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 |
| 6 | Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik | 61 |
| 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 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.2 | 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 |
| 6.3 | Elektronische Bauelemente | 70 |
| 6.3.1 | Diode | 70 |
| 6.3.2 | Transistor | 72 |
| 6.3.3 | Hallsensor, GMR-Sensor | 75 |
| 7 | Elektromotor und Antriebssteuerung | 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 |
| 8 | Akkumulatoren (Akkus) | 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 | Ladegerätetechnik | 138 |
| 8.9.1 | Ladeüberwachung | 139 |
| 8.10 | Ausblicke | 140 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9 | Bedienelemente und Kommunikation | 143 |
| 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 |
| 10 | Leistungsprüfstand | 161 |
| 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 |
| 11 | Bauarten | 168 |
| 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 |
| | Anhang | 173 |
| 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 |
| | Literaturverzeichnis | 203 |
| | Bild- und Firmenverzeichnis | 204 |
| | Sachwortverzeichnis | 205 |