



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Kraftfahrzeugtechnik

Fachwissen E-Bike

Technik der Leicht-Elektrofahrzeuge

5. Auflage

Verlag Europa-Lehrmittel · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 24015

Autoren

Dipl.-Ing. Michael Gressmann	Borken (He)
Dipl.-Ing. Ludwig Retzbach	Riederich

Bildbearbeitung

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Das vorliegende Buch richtet sich selbstverständlich an Mechanikerinnen und Mechaniker – allerdings haben die Autoren aus Gründen der besseren Lesbarkeit die männliche Form gewählt.

Der Verlag und die Autoren bedanken sich bei Herrn Eberhard Müller, dem Lektor und Mitautor der ersten und zweiten Auflage „Fachwissen E-Bike“. Weiterer Dank für Text- und Bildbeiträge gebührt den Herren Ernst Brust und Carsten Bielmeier von der Fa. velotech.de (Schweinfurt).

5. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-2292-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz und Layout: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfoto: © Markus Mainka – Stock.adobe.com, Brose Antriebstechnik GmbH und Co., Berlin

Druck: Plump Druck und Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Das **Fachwissen E-Bike** vermittelt alle Fachkenntnisse, die im Ausbildungsrahmenplan für die betriebliche Ausbildung und im Rahmenlehrplan für die Fachstufe der Berufsschule aufgeführt sind. Der Ausbildungsberuf „Zweiradmechatroniker/-in – Fachrichtung Fahrradtechnik“ ist innerhalb des Berufsfeldes Fahrzeugtechnik ein Ausbildungsberufe mit hohen fachspezifischen Anforderungen. Hier soll das Buch eine Hilfe beim Verstehen von technischen Vorgängen und Systemzusammenhängen sein.

Zielgruppe: Auszubildende Zweiradmechatroniker/-in, Dozierende, Auszubildende, Meister/-in und Techniker sowie den Studierenden der Fahrzeugtechnik soll der Titel als Nachschlagewerk, zur Informationsbeschaffung und zur Ergänzung der fachlichen Kenntnisse dienen. Und nicht zuletzt soll es allen an der E-Fahrrad-Technik Interessierten eine Quelle von nützlichen Informationen sein.

Im Vergleich zu Autos und Motorrädern bedient sich das Fahrrad einer überschaubaren Technik. Das Elektrofahrrad verändert die Situation grundlegend. Mit ihm halten komplizierte Steuerungselektroniken, neuzeitliche Energiespeicher und modernste Antriebstechniken Einzug.

Neu in der 5. Auflage

Die Kurzzeichen für elektrische Größen sind an die Schreibweise des Tabellenbuchs Fahrradtechnik angepasst und vereinheitlicht. Eine Überarbeitung und Ergänzung des Kapitels „Fachbegriffe“, eine Zusammenfassung von Kommutatormotoren und eine Gegenüberstellung „Synchronmotor/Asynchronmotor“ erweitern dessen Umfang. Im Kapitel „Effizienzverbesserung“ wird die Wicklungstechnologie „Hairpin“ beschrieben.

Die 5. Auflage wurde komplett überarbeitet sowie dem aktuell technischen und gesetzlichen Stand angepasst.

Rechenbeispiele mit den Themen „interne und externe Getriebeübersetzung, Bremstechnik und Radgröße“ ergänzen die einzelnen Sachgebiete. Ein Rechenbeispiel mit aktuellen technischen Motordaten ergänzt die überarbeitete Formelsammlung.

Die Autoren des Buches, ein Maschinenbau- und ein Elektroingenieur, haben sich bemüht, die Materie leicht und verständlich darzustellen. Der Schwerpunkt des Buches behandelt die elektrischen und mechanischen Komponenten des Zusatz-Antriebes und ihr Zusammenwirken. Nabenmotoren, Mittel- und Tretlagerantriebe, Controller, Bedien- und Steuerelemente und natürlich auch die Akkus, die einen wesentlichen Teil eines Elektrorades ausmachen, werden ausgiebig beschrieben.

Im Buch werden Themen wie „verwendungsgerechtes“ Elektrofahrrad, optimale Fahrweise, gesetzliche Vorschriften, Produktsicherheit und Einheitsstandards nicht vernachlässigt.

Als ein Vertreter der Elektro-Kleinstfahrzeuge ist der E-Scooter (Elektro-Tretroller) ausführlich beschrieben.

Die Erarbeitung von geeigneten Lehrmitteln für die junge E-Bike-Branche steht noch am Anfang. Änderungs- und Ergänzungswünsche sowie konstruktive Kritik nehmen wir gerne per E-Mail an lektorat@europa-lehrmittel.de entgegen.

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	Sitzrohrantrieb	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

1 Geschichte der Elektrofahrräder

1

Ende des 19. Jahrhunderts kamen die ersten einsatzfähigen Verbrennungsmotoren auf den Markt. Später wurden Verbrennungsmotoren in allen Varianten als Zusatzantrieb ins Fahrrad eingebaut. Es gab sie als Vorder- oder Hinterradantrieb. Die Kraftübertragung erfolgte mittels Reibrad, Kette oder Kardanwelle. Es gab auch Versuche, die Dampfmaschine als Fahrrad Antrieb zu nutzen. Doch der erste brauchbare Veloantrieb erfolgte durch einen batteriebetriebenen Elektromotor. Die Amerikaner wurden auf diesem Gebiet Vorreiter.

Am Ende des Jahres 1895 wurde für das erste Elektrofahrrad ein U.S.-Patent erteilt (**Bild 1**). Der Erfinder hieß *Odgen Bolton*. Aus heutiger Sicht betrachtet war dieser Radantrieb recht fortschrittlich. Er bestand aus einem getriebelosen 6-poligen Nabenmotor im Hinterrad. Den Antrieb lieferte ein Gleichstrommotor mit Kommutator und Kohlebürsten. Der 10-Volt-Akku hing am Oberrohr zwischen Steuerkopf- und Sitzrohr.

Der Akku konnte bis zu 100 Ampere abgeben. Damit gab die Batterie eine Leistung von 1 kW ab. Die Steuerung erfolgte über einen Schalter am Lenkrohr, der über einen Griffhebel betätigt wurde.

Der Elektromotor wurde damit je nach Bedarf ein- und ausgeschaltet. Eigentlich war dieses Gefährt kein Fahrrad, denn es fehlten die Pedale. Es war eher eine motorisierte Laufmaschine oder eine Kreuzung aus Fahrrad und Roller. Wenn auch das fortschrittliche Antriebskonzept für Jahrzehnte wieder in der Versenkung verschwand, so sollte die Idee dennoch nicht verloren gehen. Das Gefährt selbst feierte im Jahr 2010 in Stuttgart seine Auferstehung (**Bild 1, Seite 8**).

Heute ist der Nabenmotor Standard im Elektrofahrrad. Er treibt unmittelbar das Rad an und ist daher vom Wirkungsgrad her unübertroffen.

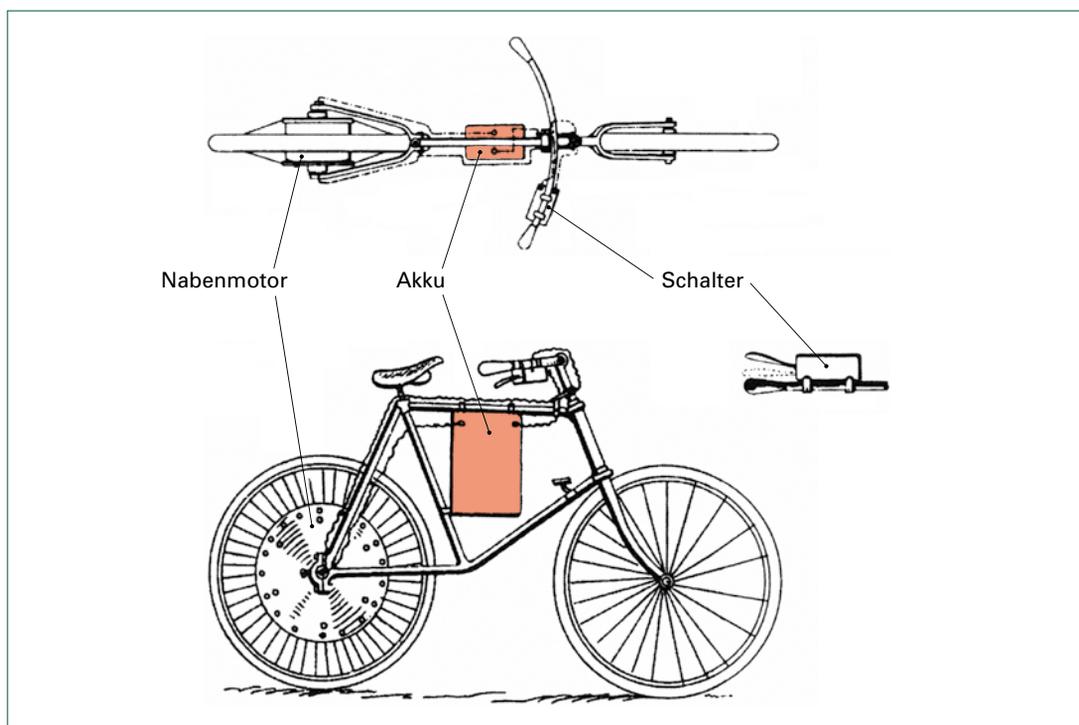


Bild 1: Erstes E-Bike aus dem Jahre 1895 von *Odgen Bolton*, USA

Ausgerechnet die Autostadt Stuttgart hat die 1895 in den USA erfundene E-Laufmaschine durch die Stuttgarter Firma *ID-Bike* wieder aus der Vergangenheit geholt (**Bild 1**). Das Gefährt hat im Hinterrad einen getriebelosen Nabenmotor, keine Pedale und der Akku ist wie bei seinem Urahn vor dem Sitzrohr angebracht. In Bezug auf Verwendung und Anordnung der Fahrzeugkomponenten ist das moderne Gefährt das getreue Abbild des ersten Elektrofahrrades der Welt. Manches wurde modernisiert. Der getriebelose Motor ist nun bürstenlos und die Steuerung geschieht nicht mehr durch einen Schalter am Lenker, sondern durch einen Drehgriff, über den die Leistung stufenlos geregelt werden kann.

Das Wesentliche aber ist geblieben. Ob die Stuttgarter Konstrukteure wussten, was sie da wieder zum Leben erweckten?

Am 28. Dezember 1897 wurde das nächste wegweisende E-Bike in Boston, USA, aus der Taufe gehoben. Der Erfinder, *Hosea W. Libbey*, baute in das Elektrofahrrad einen 5-poligen Gleichstrommotor in die Nabe des Tretlagers

ein. Der Antrieb auf das Hinterrad erfolgte wie bei einer Dampflok über ein Gestänge (**Bild 1, Seite 9**).

Libbey ersetzte jedoch bald den Stangenantrieb durch einen Kettenantrieb. Die Besonderheit des Hinterrades bestand darin, dass es aus zwei nahe beieinanderliegenden Radreifen bestand, die über Speichen mit der Achse verbunden waren. Dieses Fahrradmuster mit Mittelantrieb ist der Vater vieler heutiger Pedelecs, deren Motor auf die Kette wirkt und die daher die Naben- oder die Kettenschaltung mitnutzen können. Auch die Steuerung des elektrischen Antriebes war nicht mehr so primitiv wie bei dem ersten Elektrofahrrad aus dem Jahre 1895.

Die Batterie bestand aus zwei Hälften. Die erste Hälfte wurde für relativ ebenes Gelände benutzt. Die zweite wurde bei Steigungen oder Schnellfahrten zugeschaltet. Die Schaltung erfolgte über ein Handrad vor dem Lenker mit den Steuerstellungen 0-1-2. Viele der heutigen preisgünstigen Elektrofahrräder haben ebenfalls diese dreiteilige Steuerung: Aus – Eco-modus – Normalmodus.



Bild 1: Elektro-Kleinkraftrad von ID-Bike (2010), Stuttgart

Unter dem Sattel befand sich ein Behälter mit destilliertem Wasser, mit dem der Akku nachgefüllt werden konnte. Die Bleiplatten des Akkus waren mit einem von Schwefelsäure durchtränkten Gewebe voneinander getrennt, so dass während des Fahrbetriebes keine Säure auslaufen konnte.

1898 wurde in Chicago ein Elektrofahrrad entwickelt, bei dem das Hinterrad über einen Riemen angetrieben wurde (Bild 2). Der Erfinder, *Matthew J. Steffens*, hatte dabei die Idee, das Hinterrad gleich als Riemenscheibe mit zu verwenden. Der Radreifen hatte in der Mitte eine Nut, in der der Riemen lief. Dadurch wurde er auch auf rauem Gelände nicht abgeworfen.

Diese Anordnung ähnelte einer Art Keilriemenantrieb mit einer hohen Getriebeuntersetzung. Der am Sitzrohr angebrachte kleine und hochtourige Elektromotor trieb über eine Kette das Riemenrad an.

In New York wurde 1899 eine Antriebsart patentiert, die in der nachfolgenden Zeit vielerorts Schule machte, sich aber nicht durchsetzen konnte: der Antrieb über eine Reibrolle direkt auf den Reifen des Fahrrades. *John Schnepf*,

der Erfinder, setzte das Antriebsaggregat auf das Hinterrad. Es bestand aus zwei Motoren, in dessen Mitte das Reibrad saß. Alle drei Antriebssteile waren über die einzige Welle miteinander verbunden (Bild 1, Seite 10).

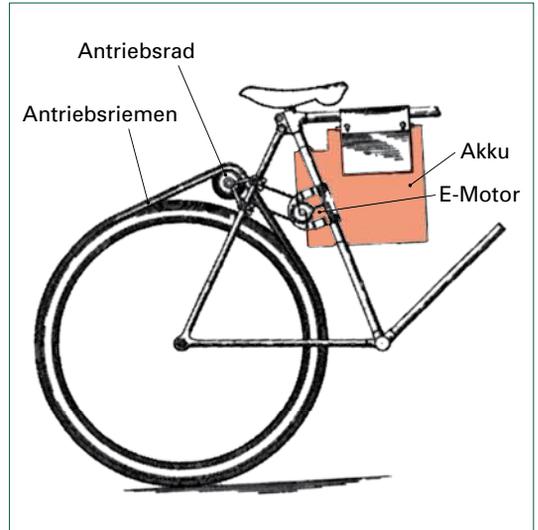


Bild 2: Der Antriebsriemen wirkt über den Umfang des Hinterrades, 1898 von Steffens, USA

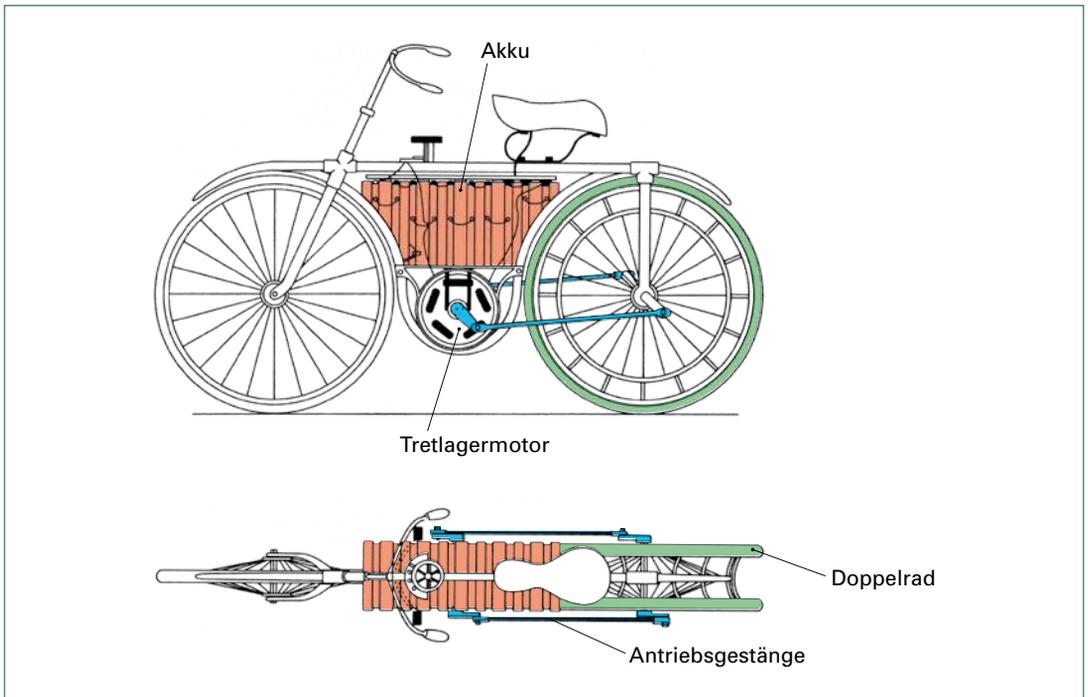


Bild 1: Erstes E-Bike mit Tretlagerantrieb, 1897 von Libbey, USA

Der Kompaktantrieb diente auch als Generator, der den Akku bei Gefällefahrten wieder aufladen konnte. Dieser einfache Reibradantrieb wurde später in vielen Varianten gebaut (**Bild 1**). Dabei wurde entweder das Vorder- oder Hinterrad über eine Reibrolle angetrieben.

Durchgesetzt haben sich allein die beiden ersten Erfindungen: der Antrieb über Nabenmotor oder indirekt als Mittelmotor durch eine Kette auf das Hinterrad.

In Europa setzte die Entwicklung von Elektrofahrrädern wesentlich später ein als in den USA. 1932 wurde von der Firma Philips ein Elektrofahrrad (**Bild 2**) entwickelt, das wegweisend wurde. Es hatte einen Zentralmotor, der seine Kraft über eine Kette auf das Hinterrad übertrug. Der Bleiakku saß tief hinter dem Vorderrad und verlagerte den Schwerpunkt weit nach unten.

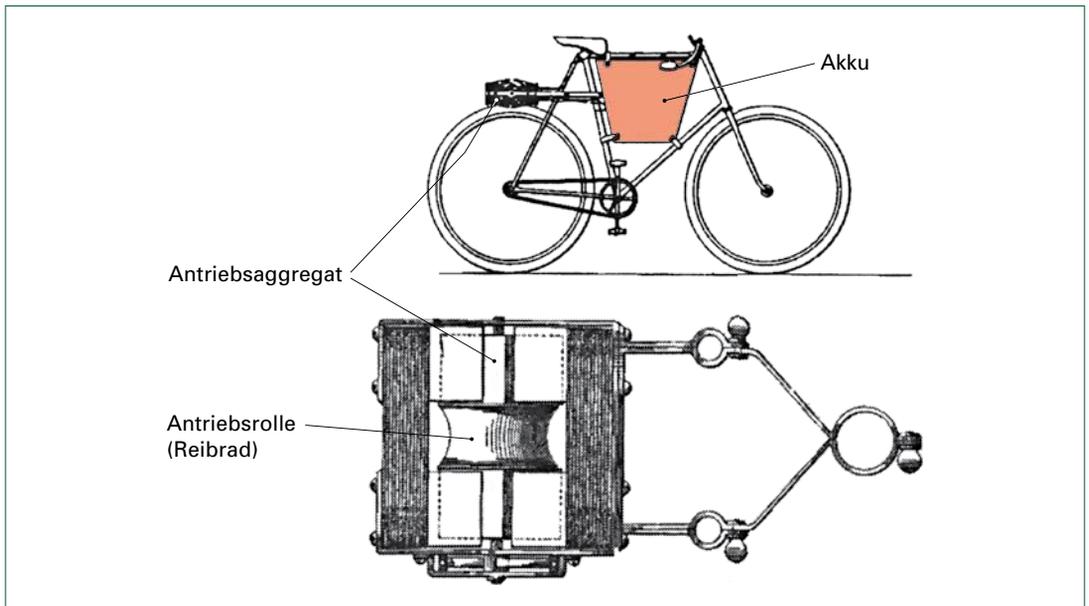


Bild 1: Reibrollenantrieb 1899 von *Schnepf*, USA



Bild 2: E-Bike der Firma *Philips*, 1932

Etwa um die gleiche Zeit wurde in Deutschland auch das bereits bekannte Konzept des elektrischen Radnabenmotors am Fahrrad übernommen. Doch nicht der batteriegetriebene Elektromotor machte vorerst das Rennen, sondern der kleine, leistungsfähige Benzinmotor. Gegenüber dem Elektroantrieb waren diese Motoren billiger, stärker und ihre Reichweite erheblich größer. Überall konnte schnell aufgetankt werden, lange Aufladezeiten entfielen. An Abgas und Lärm störte sich damals noch niemand.

Doch der Hilfsantrieb mit Verbrennungsmotor war nur eine Stufe zur Massenmotorisierung. Irgendwann kam das Motorrad und am Ende aller Träume stand das vierrädrige Kraftfahrzeug. Autofahren wurde zum Maß aller Dinge – je schneller und je mehr PS, desto besser. Das Fahrrad dagegen wurde zum Arme-Leute-Fahrzeug. Akzeptiert war bestenfalls noch die sportliche Nutzung in der Freizeit.

In den 1980er Jahren – vielleicht mitverursacht von zwei Ölkrisen – arbeitete man weitab vom noch herrschenden Verkehrstrend an der Entwicklung von modernen Elektrofahrrädern.

Auf der Internationalen Fahrradmesse im Jahre 1982 präsentierte ein traditionsreicher deutscher Fahrrad- und Mopedhersteller einen elektrischen Reibrollenmotor als Nachrüstsatz für Fahrräder. Bergab funktionierte der Motor als Generator und konnte den NiCd-Akku wieder aufladen. Kurz danach wurde das Pedelec-Prinzip erfunden.

Pedelec-Prinzip:

Durch Treten in die Pedale wird der Motor eingeschaltet. Ruhen die Pedale, schaltet sich der Motor automatisch ab.

In den 1990er Jahren entwickelte man in Japan eine Steuerung, die auf das vom Fahrer aufgebrauchte Drehmoment reagierte. Je mehr der Fahrer in die Pedale tritt, umso stärker wird er durch den Elektromotor unterstützt. Der Japaner *Takada Yutka* erhielt auf diese Erfindung ein Patent.

Mit der Drehmomentsteuerung war der eigentliche Durchbruch bei den Elektrofahrrädern geschafft. Bisher musste der Fahrer noch einen Gasgriff betätigen – nun reichte es, in die Pedale zu treten.

1993/94 entwickelte die japanische Firma Yamaha einen anwendungsreifen Antrieb mit Pedalsteuerung (PAS = Power Assist System).

Das PAS-Fahrrad verkaufte sich gut: 300 000 Stück bis 1997. Man musste lediglich wie beim normalen Fahrrad losfahren – nur dass es sich anfühlte, als hätte man die durchtrainierten Beinmuskeln eines Leistungssportlers. Dazu kam noch ein juristischer Effekt: Die Firma Yamaha erreichte, dass die japanische Gesetzgebung das PAS-Rad dem gewöhnlichen Fahrrad gleichstellte.

Der Gesetzgeber machte aber folgende Einschränkungen:

Der Elektromotor durfte nicht mehr als 250 Watt Dauerleistung bringen und musste spätestens bei 25 km/h abschalten. Die Unterstützung der Pedalkraft durfte maximal 1:1 betragen.

Diese Regelung wurde später von den EU-Ländern übernommen – mit dem Unterschied, dass die Muskelkraft mit einem größeren Faktor als 1:1 verstärkt werden darf, und dass ein Bewegungssensor genügt, um die Pedalbewegung festzustellen.

In Japan, Taiwan und China erfolgte daraufhin die Entwicklung der modernen Elektrofahrräder. Hersteller wie Sanyo, Honda, Suzuki, Merida und vor allem Panasonic folgten dem Beispiel von Yamaha und bauten PAS-Fahrrad-Antriebe mit Drehmomentsteuerung. In den fernöstlichen Ländern war auch ein wesentlich höherer Absatzmarkt vorhanden als in Europa. Der Anteil der Elektrofahrräder im Verkehr ist dort darüber hinaus um einiges höher als in den westlichen Ländern.

Das Elektrofahrrad wurde die Domäne der Asiaten. Bedeutsame Elektrorad-Hersteller in Europa bauen elektrische Antriebs-Ausrüstungen aus Fernost in ihre Fahrräder ein. Steuerungen und Antriebe für Elektroräder werden in Europa kaum hergestellt.

Elektrofahrräder haben heute einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Das Angebot deckt ein breites Spektrum an Kundenwünschen ab. Man sollte dabei nicht vergessen, dass diese Standards nur über viele experimentelle Zwischenschritte erreicht werden konnten. Dabei wurde von Bastlern und Tüftlern, deren Namen heute vergessen und deren Ideen oft-

mals der Zeit weit voraus waren, wertvolle Pionierarbeit geleistet. Auch scheint der berühmte Satz von *Arthur Schopenhauer* (deutscher Philosoph 1788 – 1860) zu gelten: „Neue Erkenntnisse durchlaufen drei Stadien: Zuerst werden sie belächelt, dann heftig bekämpft und schließlich als Selbstverständlichkeiten angenommen.“

Einige dieser frühen Stadien sind in Bild 1 bis 4 dargestellt. Die hier abgebildeten Räder sind im LEV-Museum Tanna ausgestellt.

Auch die heute gebräuchlichen E-Scooter (siehe Kapitel 2.11.1) haben historische Vorgänger.

Kick-Scooter – ein flaches Board auf Rädern mit einer langen Lenkstange – werden seit über 100 Jahren als Spielzeug für Kinder hergestellt.

Eines der ersten Beispiele für *motorisierte* Tretroller war *Florence's Autoped*. Wie ein Kinderroller hatte er keinen Sitzplatz.

Der in New York und Deutschland von Krupps hergestellte US-Postdienst benutzte den *Autoped* als schnelles Transportmittel für spezielle Zustelldienste.

Weitere Hersteller folgten: ABC Motorcycles produzierte den 24 km/h schnellen Skootamota. Die Gloster Aircraft Company führte 1919 den Reynolds Runabout ein, 1920 folgte der *Unibus Auto* auf zwei Rädern.

Einige dieser frühen Scooter-Designs waren instabil, unbequem zu fahren und schwer zu handhaben. In den Jahrzehnten vor dem Zweiten Weltkrieg wurde eine Reihe von Verbesserungen eingeführt, darunter effiziente Bremsen, Getriebe, Aufhängungen, geschlossene Karosserien und Beinschilde.

Nach 1945 begann die Ära des Scooters – eine direkte Folge der Benzinrationierung.



Bild 1: Riemenantrieb auf das Hinterrad. Der Akku verbirgt sich in der Lenkertasche.



Bild 2: E-Motor am Ausfallende



Bild 3: Reibradantrieb auf das Vorderrad. Akku (Blei-Technologie) in Gepäcktaschenposition.



Bild 4: Fahren mit Solarenergie. Der Motor wirkt als Reibrad auf das Vorderrad.

2 Rechtliche Bestimmungen und Sicherheit

2.1 Definitionen

Zu den Elektro-Leichtfahrzeugen gehört neben vierrädrigen Kraftfahrzeugen die Gruppe der Elektro-Zweiräder (Bild 1).

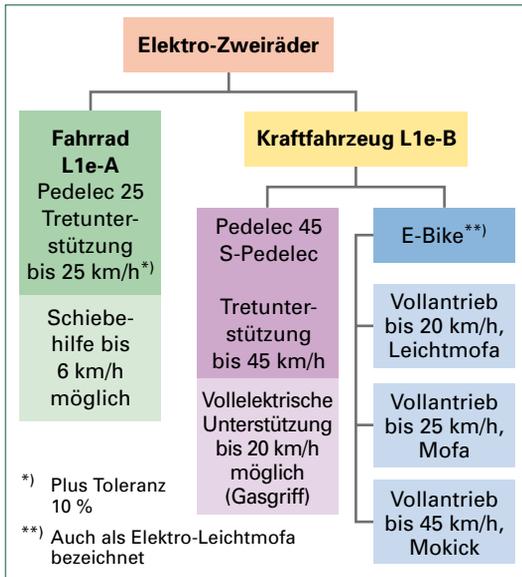


Bild 1: Einteilung der Elektro-Zweiräder

Im technischen Teil des vorliegenden Buches werden aus Gründen der Lesbarkeit die Begriffe E-Bike, Pedelec und Elektrofahrrad synonym verwendet – trotz der rechtlichen Unterschiede. Was im Volksmund als Elektrofahrrad oder E-Bike bezeichnet wird, ist in den meisten Fällen ein Pedelec 25 oder einfacher: ein Pedelec.

2.2 Unterteilung der E-Bikes

Ein Elektromotor ersetzt den (sonst üblichen) Verbrennungsmotor. Das Fahrzeug fährt mit Elektroantrieb ohne Tretpedale oder Tretpedalbenutzung.

v_{max} 20 km/h	Leichtmofa (Bild 2)
v_{max} 25 km/h	Kleinkraftrad (Mofas, Roller)
v_{max} 45 km/h	Mokick (Roller, Leichtkraftrad)
über 45 km/h	Kraftrad (Motorrad, Roller)



Bild 2: Leichtmofa. Geschwindigkeit bis 20 km/h (SFM Bikes Dist. GmbH)

Die zweirädrigen Elektro-Leichtkrafträder sind nach neuem EU-Recht¹⁾ in die Fahrzeugklassen L1e-B und L3e-B eingeteilt (dreirädrige in L2e). Danach sind sie keine Fahrräder, sondern Kraftfahrzeuge. Neben dem elektrischen Vollantrieb ist bei einigen Bauarten auch ein Pedalantrieb möglich.

Die Betätigung der Motorunterstützung erfolgt **nicht** durch den Tritt in die Pedale, sondern durch „Gasgeben“ per Drehgriff (Bild 3) oder Schaltknopf.



Bild 3: Motorsteuerung durch Drehgriff (ONwheel power grip)

Bild 1, Seite 14 zeigt ein Leichtkraftrad der Klasse L3e-B, für dessen Betrieb man ein amtliches Kennzeichen und mindestens den Führerschein der Klasse A1 benötigt. Leichtkrafträder sind zulassungs- und damit auch steuerfrei.

¹⁾ EU-Typgenehmigung Nr. 168/2013 (siehe auch Anhang)



Bild 1: Elektro-Leichtkraftrad L3e „Schwalbe“

2.2.1 Pedelec 25, Pedal Electric Cycle

Ein Pedelec der EU-Kategorie L1e-A ist im Sinne des Straßenverkehrsgesetzes vom 21.6.2013 (§ 1 Abs. 3) kein Kraftfahrzeug, sondern ein Fahrrad. Eine verschuldensunabhängige Haftung des Pedelec-Fahrers für betriebsbedingte Schäden gem. § 7 Abs. 1 StVG, wie das bei Kraftfahrzeugen der Fall ist, kommt daher nicht in Betracht.

Die Nenndauerleistung (Definition siehe Fachbegriffe ab S. 191) des Motors ist auf 250 W beschränkt.

Der Motor dient als Tretunterstützung, das heißt, er setzt nur ein, wenn der Fahrer selbst in die Pedale tritt (Ausnahme: Schiebehilfe (Anfahrhilfe) beim Pedelec 25 bis 6 km/h).

Mit zunehmender Geschwindigkeit verringert sich die Motorleistung progressiv, bis sie bei 25 km/h gegen Null geht.

Das zulässige Gesamtgewicht (vom Hersteller festgelegt) ist zu beachten.

Betriebserlaubnis, Führerschein, Versicherung und Helm sind nicht erforderlich.

Ein Pedelec 25 darf ohne Altersbeschränkung gefahren werden¹⁾. Allerdings wird davon abgeraten, Kinder unter 14 Jahren auf Pedelecs fahren zu lassen. Sie könnten mit der höheren möglichen Geschwindigkeit überfordert sein.

Die Benutzung von Radwegen ist wie bei normalen Fahrrädern geregelt. Fahrräder und Pedelecs 25 müssen nur dann auf dem Radweg

fahren, wenn er benutzbar ist und ein blaues Radwegzeichen dazu verpflichtet (**Bild 2**).



Bild 2: Benutzungspflichtige Radwege

Die Benutzungspflicht gilt jeweils für die Fahrtrichtung, die mit dem Schild gekennzeichnet ist. Achtung: Auf einem Radweg ist Gegenverkehr möglich! Meist sind es Bordsteinradwege, die mit dem Radwegzeichen ausgeschildert sind.

Das Fahren mit Trailerbikes und Anhängern ist generell erlaubt (**Bild 3**). Dabei darf das zulässige Gesamtgewicht des Pedelecs nicht überschritten werden, da es sonst zu einem Bruch oder Versagen sicherheitsrelevanter Teile kommen kann.



Bild 3: Pedelec 25 mit Trailer (WeeHoo)

Das Fahren mit Trailerbikes/Anhängern verändert die Fahreigenschaften. Der Bremsweg wird länger, das Lenkverhalten träger. Es wird empfohlen, Anfahren, Bremsen, Kurven- und Gefällefahrten anfangs mit einem unbesetzten/unbeladenen Trailerbike/Anhängern zu üben.

Es dürfen nur Trailerbikes/Anhängern, die den jeweiligen nationalen Gesetzen entsprechen, benutzt werden. Fahrradanhänger sollten die Bestimmungen der DIN EN 15918 erfüllen.

Die Befestigung des Anhängers ist abhängig vom Ausfallende: Am verschiebbaren Ausfallende muss eine spezielle Kupplung angebracht sein (**Bild 1, Seite 15**).

¹⁾ Kinder unter 12 Jahren dürfen nur unter Aufsicht einer Person über 16 Jahren mit dem Pedelec 25 fahren.



Bild 1: Anhängerkupplung (Weber-Technik GmbH)¹⁾

Das Anbringen und Benutzen von Kindersitzen an Pedelecs mit Sitzrohrakku ist nicht erlaubt²⁾. An diesen Rädern sollte keine Montage von Kindersitzen möglich sein (**Bild 2**).



Bild 2: Erlaubt: Kindersitz am Pedelec ohne Akku am Sitzrohr

An Pedelecs mit Bosch-Motor und Gepäckträgerakku ist die Montage von Kindersitzen möglich, dieser darf aber nicht direkt am Gepäckträger befestigt werden. Es muss ein Montageset mit Sitzrohrklemmung zur Anwendung kommen.

Das Gesamtgewicht des Pedelecs und die maximale Zuladung des Gepäckträgers dürfen nicht überschritten werden. Zu berücksichtigen ist, dass sich durch die Montage eines Kindersitzes der Schwerpunkt nach oben verlagert. Das Fahrverhalten wird instabiler.

Pedelecs 25 benötigen keinen Dynamo mehr. Ihre Lichtanlage darf mit Strom aus dem Antriebsakku betrieben werden, auch wenn er wie üblich eine höhere Nennspannung als 6 V hat. Auf Pedelecs sind die Vorschriften über Fahr-

räder anzuwenden (§ 1 Abs. 3 Straßenverkehrsgesetz). Im Gegensatz zur Batterie ist für den „wiederaufladbaren Energiespeicher“ keine Nennspannung vorgeschrieben.

Beim Pedelec ist der Verzicht auf den Dynamo technisch sinnvoll. Vormalig galt: Der Ladestrom aus dem Netz fließt in den Akku und von dort als Antriebsstrom in den Motor. Der Motor treibt gemeinsam mit dem Fahrer das Pedelec und dieses den Dynamo an, der die Bewegung wieder in Strom für die Beleuchtung umwandelt.

2.2.2 Pedelec 45 (S-Pedelec)

Die Bezeichnung Pedelec weist darauf hin, dass eine Tretunterstützung durch Pedalantrieb bis 45 km/h möglich ist – es ist aber dennoch kein Fahrrad, sondern ein Kraftfahrzeug.

Das S-Pedelec ist ein Kraftfahrzeug der Klasse L1e-B, weil es bauartbedingte Geschwindigkeiten über 25 km/h ermöglicht. Sie sind zulassungsfrei und daher von der regelmäßigen Hauptuntersuchung befreit. In der (vorgeschriebenen) Betriebserlaubnis muss die Reifengröße eingetragen sein: Bereifung mit ECE-R75-Prüfzeichen (Ländercode in Kreis, z. B. E1 für Deutschland und 75R auf der Reifenflanke). Reifen-Mindestprofiltiefe 1 mm.

Für den Betrieb eines S-Pedelecs sind ein Versicherungskennzeichen (**Bild 3**) und mindestens eine Mofa-Prüfbescheinigung (Klasse AM) erforderlich. Personen, die vor dem 01.04.1965 geboren sind, dürfen ein S-Pedelec auch ohne Führerschein fahren. Mindestalter für das Führen eines S-Pedelec beträgt 16 Jahre.



Bild 3: Versicherungskennzeichen Mofa. Farbe je nach Versicherungsjahr unterschiedlich.

¹⁾ An Pedelecs mit Groove-Frontmotor und Gepäckträgerakku ist die Montage eines Kindersitzes verboten.
²⁾ Nur für Pedelec 25 zugelassen, nicht für Pedelec 45 bzw. E-Bike.

Die Motor-Nennleistung beträgt höchstens 4000 W mit max. 400 % Tretunterstützung (EU-Verordnung 168/2013).

Eine Geschwindigkeit (per E-Gashebel) ohne Treten ist bis 20 km/h möglich.

Die Motorunterstützung schaltet bei ca. 45 km/h ab. Diese Geschwindigkeit, bei der man etwa 700 Watt benötigt, erreicht man nicht allein mit der Unterstützung des Elektromotors. Geschwindigkeiten von 35 bis 45 km/h erreicht man nur durch eine Kombination von ca. 350 Watt Motorleistung **und** eigener Körperkraft.

Unter Motorkraft gilt laut StVO § 2 Abs. 4: S-Pedelecs müssen (wie auch Mofas) außerhalb geschlossener Ortschaften Fahrradwege benutzen. Wo das (ausnahmsweise) *nicht* erlaubt ist, zeigt das Zusatzschild „Keine Mofas“ an.

S-Pedelecs sowie E-Bikes bis zu einer maximalen Geschwindigkeit von 45 m/h sind ausschließlich auf der Fahrbahn erlaubt – innerwie außerorts.

In Einbahnstraßen, die in Gegenrichtung für Fahrräder freigegeben sind, dürfen S-Pedelecs und E-Bike-Fahrer *nicht* in Gegenrichtung einfahren, Pedelecs 25 schon. Das gilt auch für Waldwege, für Radfahrer freigegebene Fußgängerzonen und Fahrradabstellanlagen.

Ein Transport von Kindern bis 7 Jahre in einem geeigneten Kindersitz ist erlaubt – nicht dagegen in Anhängern/Trailern.

Fahrradanhänger können angehängt werden, solange die verwendete Anhängerkupplung die (bei Kraftfahrzeugen) notwendige Allgemeine Betriebserlaubnis besitzt.

Ein Rückspiegel und ein selbst einklappender Seitenständer müssen angebracht sein. Die Bremshebel müssen am Ende abgerundet sein.

Es besteht die Pflicht, einen geeigneten Schutzhelm zu tragen (siehe § 21a Abs. 2 StVO).

Es dürfen nur Ersatzteile verwendet werden, die laut Betriebserlaubnis (BE) freigegeben sind (siehe Tabellenbuch Fahrradtechnik).

info

Ein normaler Fahrradhelm ist wegen fehlendem Seitenschutz ungeeignet, da dieser nur bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h schützt.

2.2.3 Elektro-Leichtmofas

E-Bikes bis 20 km/h

- Motor einschalten per Knopfdruck, Gas-Drehgriff
- Motorleistung maximal 500 Watt (§ 3 Absatz 2.2 StVRAusV)
- Leergewicht maximal 30 Kilogramm (§ 3 Absatz 1.1 StVRAusV)
- Felgendurchmesser von 26 Zoll bis 28 Zoll (§ 3 Absatz 1.2 StVRAusV)
- Reifenbreite maximal 1,75 Zoll (§ 3 Absatz 1.3 StVRAusV)
- Mindestalter der Fahrer 15 Jahre (§ 10 Absatz 3 FeV)
- Mofa-Prüfbescheinigung für alle nach dem 01.04.65 Geborenen (§ 5 Absatz 1 FeV)
- Keine Helmpflicht
- Kindersitz für Passagiere bis 7 Jahren notwendig
- Radwege dürfen nur befahren werden, wenn diese mit „E-Bike frei“ oder „Mofa frei“ gekennzeichnet sind

E-Bikes bis 25 km/h

- Motorleistung max. 1.000 W
- Mindestalter der Fahrer 15 Jahre (§ 10 Absatz 3 FeV)
- Mofa-Prüfbescheinigung für alle nach dem 01.04.65 Geborenen (§ 5 Absatz 1 FeV)
- Helmpflicht (§ 21a Absatz 2 StVO)
- Dürfen nur auf Radwegen verkehren, die mit „E-Bike frei“ oder „Mofa frei“ gekennzeichnet sind
- Geeigneter Kindersitz für Passagiere bis 7 Jahren notwendig

E-Bikes bis 45 km/h

- Es sind Kleinkraftmädrer (Klasse L1e-B)
- Motorleistung maximal 4.000 Watt (§ 2 Absatz 11a FZV)
- Mindestalter der Fahrer: 16 Jahre (§ 10 Absatz 1 FeV)
- Führerscheinplicht der Klasse AM
- Helmpflicht (§ 21a Absatz 2 StVO)
- Licht muss immer eingeschaltet sein (§ 17 Absatz 2a StVO)
- Fahrradwege sind tabu, auch wenn für E-Bikes freigegeben

2.3 Lichtanlage

Am 10. März 2017 verabschiedete der Bundesrat in § 67 der StVZO eine Überarbeitung der lichttechnischen Vorschriften.

Die wichtigsten Änderungen:

- Pedelecs 25 sind nun rechtlich mit Fahrrädern gleichgesetzt.
- Solange Energiequelle und Lichtanlage spannungsverträglich aufeinander abgestimmt sind, gibt es keinerlei Nutzungseinschränkungen. So sind Dynamo-, Batterie-, Akku- und spezielle E-Bike-Beleuchtungen untereinander gleichberechtigt.

Beispiel:

Rücklichter können jetzt auch mit Batterien – nicht nur mit Akkus – genutzt werden, auch wenn diese eine andere Nennspannung als 6 V haben.

- Fahrrad- und E-Bike-Scheinwerfer dürfen über Tagfahrlichtfunktion und Fernlichtfunktion verfügen, wie man es von Motorrädern kennt. Im Normalbetrieb gilt nach wie vor die Einhaltung der Hell-Dunkel-Grenze.
- Fahrrad- und E-Bike-Rücklichter dürfen mit einer Bremslichtfunktion ausgestattet sein, die mit der Bremse gekoppelt ist (**Bild 1**) – im Gegensatz zu der bisherigen BrakeTec-Technologie.

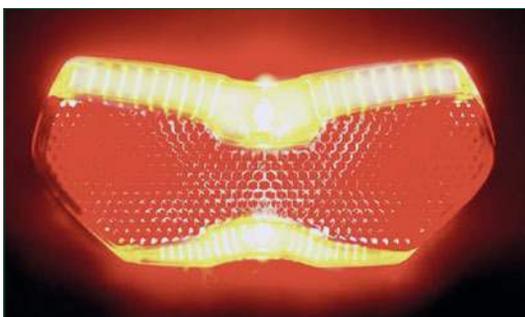


Bild 1: Rücklicht mit Bremslichtfunktion (B+M brake tec)

Mehrspurige Fahrräder/Pedelecs oder solche, bei denen die Handzeichen des Radfahrers schlecht zu erkennen sind, dürfen fahrtrichtungsanzeigende Blinker verbauen. Blinkende Scheinwerfer und Rücklichter sind hingegen untersagt.

Fahrräder und E-Bikes dürfen wahlweise einen oder zwei Scheinwerfer verwenden.

Ein roter Z-Rückstrahler reicht aus; es muss kein zusätzlicher kleiner Rückstrahler hinten am Rad vorhanden sein.

2.4 Gesetzliche Bestimmungen in Österreich (Auszug)

Nach § 2 Abs. 1 Z 22 der StVO werden zwei Arten von Elektrofahrrädern unterschieden:

- Ein Fahrrad, das zusätzlich mit einem elektrischen Antrieb gemäß § 1 Abs. 2a KFG 1967 ausgestattet ist. Demnach ist ein Rad mit Hybridantrieb nach Definition ein Pedelec.
- Ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug, dessen Antrieb dem eines Elektrofahrrads im Sinne des § 1 Abs. 2a KFG 1967 entspricht. Es ist ein „Nur-elektrisch angetriebenes Fahrzeug“.

Nicht als Kraftfahrzeuge gelten Elektrofahrräder (gleichgültig, ob es ein Pedelec oder ein Fahrrad mit elektrischem Vollantrieb ist). Das sind Fahrräder im Sinne der StVO 1960 mit einer maximal zulässigen Leistung von 600 W (dies ist *nicht* die maximale Nenndauerleistung) und einer Bauartgeschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h. Sie benötigen keine Typengenehmigung oder Fahrzeuganmeldung. Das Mindestalter zum Führen eines Pedelec beträgt 12 Jahre. Ausnahme: Erwerb eines Radfahrausweises.

2.5 Gesetzliche Bestimmungen in der Schweiz (Auszug)

In der Schweiz ist das Motorfahrrad (Mofa) in Art. 175 VTS geregelt. Das Mindestalter zum Fahren eines Motorfahrrads beträgt 14 Jahre. Im Unterschied zu Deutschland und Österreich gelten in der Schweiz auch Pedelecs bis 25 km/h als Kraftfahrzeug. Die Zuordnung von E-Bikes und Pedelecs zu den Kategorien Leicht-Motorfahrrad und Motorfahrrad wird an folgenden Bedingungen festgemacht:

Leicht-Motorfahrrad: Motorleistung maximal 500 W, bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit 20 km/h, Höchstgeschwindigkeit mit Tretunterstützung 25 km/h. Helm und Haftpflichtversicherung sind nicht erforderlich.

Motorfahrrad: Motorleistung bis 1 kW, bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit 30 km/h, Höchstgeschwindigkeit mit Tretunterstützung 45 km/h. Helm und Versicherungsvignette erforderlich¹⁾.

¹⁾ Eine tabellarische Zusammenfassung der Schweizer Regeln zu Elektrofahrrädern hat die bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung in ihrem bfu-Faktenblatt Nr. 4 herausgegeben.

2.6 Maschinenrichtlinie und EN-Norm

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG regelt ein einheitliches Schutzniveau zur Unfallverhütung für Maschinen, die innerhalb des europäischen Wirtschaftsraums, der Schweiz sowie der Türkei in Verkehr gebracht werden: „Ein Bauteil muss sicher sein“ (siehe auch S. 216).

info

Die Maschinenrichtlinie ist keine Prüf- oder Konstruktionsvorschrift.

Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) kennzeichnet den üblicherweise erwünschten Zustand, dass technische Geräte einander nicht durch ungewollte elektrische oder elektromagnetische Effekte störend beeinflussen. Die elektromagnetischen Wellen können zum Beispiel in Schaltungen Spannungen bzw. Ströme erzeugen und im einfachsten Fall zu einem Rauschen im Fernseher, im schlimmsten Fall zum Ausfall der Elektronik führen.

In der europäischen E-Bike-Norm EN-15194:2017 sind erstmalig eigenständig die Anforderungen an ein E-Bike geregelt (Bezug nur auf Pedelec 25). Geregelt sind sowohl mechanische als auch elektrische Vorgaben.

2.7 CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung

Jede Maschine muss eine CE-Kennzeichnung besitzen. Mit der CE-Kennzeichnung erklärt der Hersteller, dass ein Produkt den Europäischen Richtlinien entspricht. Die CE-Kennzeichnung muss vom Hersteller gut sichtbar auf dem Produkt angebracht sein (Beispiel **Bild 1**).



Bild 1: CE-Kennzeichnung am Pedelec

Jeder Maschine muss eine Konformitätserklärung (anderer Begriff: Übereinstimmungserklärung) beiliegen. Die Konformitätserklärung ist eine schriftliche Bestätigung am Ende einer Konformitätsbewertung, mit der der Hersteller bestätigt, dass das Produkt die auf der Erklärung spezifizierten Eigenschaften aufweist.

Welche Bauteile/Fahrräder/Fahrzeuge benötigen *keine* bzw. *eine* CE-Kennzeichnung und eine Konformitätserklärung?

- *Keine* CE-Kennzeichnung und *keine* Konformitätserklärung benötigen klassische Fahrräder ohne Zusatzantrieb.
- Für Pedelec 25 sind CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung Pflicht.

Mit dem Aufkommen weiterer elektrisch unterstützter Funktionen beim Fahrrad fallen immer mehr Fahrräder und Fahrradkomponenten in verschiedene Geltungsbereiche von Richtlinien, die eine CE-Kennzeichnung erforderlich machen. Beispiele für elektrisch unterstützte Schaltungen und Feder- sowie Dämpfersysteme: Shimano Di2, AGT, NuVinci Harmony, i Shock, iCD.

Pedelecs 45 sind Kraftfahrzeuge und tragen daher *kein* CE-Zeichen. Sie müssen die Richtlinien der 168/2013 (Typgenehmigung für zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge) erfüllen (siehe S. 217).

info

Mit dem CE-Zeichen bestätigt der Hersteller lediglich, dass er die EG-Richtlinie eingehalten hat (eine Selbstvergabe durch den Hersteller ist erlaubt). Das Zeichen dient **nicht** zur Information des Endverbrauchers, sondern ist ein **Marktzugangszeichen** für die Überwachungsbehörden.

Seit 1977 gibt es in Deutschland das GS-Zeichen, das für *Geprüfte Sicherheit* steht (**Bild 2**). Es ist ein staatlich überwachtes Sicherheitszeichen und dient zur Information des Endverbrauchers. Es bestätigt dem Kunden, dass der Gebrauchsgegenstand (das Pedelec) den sicherheitstechnischen Anforderungen des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG) genügt.



Bild 2: GS-Zeichen

Die Prüfstellen unterliegen der staatlichen Zulassung und Überwachung. Sie stellen u. a. Prüfstände bereit. **Bild 1, S. 19** zeigt einen Prüfstand, bei dem die Bremsen bei Nässe und Trockenheit auf ihre Wirksamkeit untersucht werden (eines der Prüfverfahren zum Erlangen des GS-Zeichens).



Bild 1: Bremsenprüfstand (velotech.de, Schweinfurt)

Wer ein Pedelec mit GS-Zeichen erwirbt, kann davon ausgehen, dass folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Der Hersteller kann nachweislich Produkte gleicher Qualität herstellen.
- Das Produkt wurde nach geltenden Prüfungsgrundsätzen getestet.
- Nachprüfungen der Serie ergeben später keine Beanstandungen.

2.8 Bauteiletausch

Es erlischt die Konformitätserklärung, wenn beim Pedelec 25 bzw. Pedelec 45 ein Bauteiletausch erfolgt (siehe die Bauteilelisten im Tabellenbuch Fahrradtechnik).

Dazu der ZIV (Zweirad-Industrie-Verband):

„Wird (... beim Pedelec 25) der vom Hersteller vorgesehene Rahmen durch einen Rahmen anderer Bauart getauscht, wird faktisch ein neues Rad konzipiert. Hier wird der Händler zum Hersteller eines neuen Rades. Dann muss er für dieses neue Rad auch eine Konformitätsbewertung vornehmen.

Ändert der Händler die Leistungsdaten des Antriebs, werden die elektromagnetischen und die Antriebseigenschaften des Rades erheblich beeinflusst. Es muss dann eine neue CE-Konformitätsbewertung erfolgen – und zwar vom Händler.

Die sonstigen Komponenten eines Pedelec dürften dagegen nicht zur Bewertung der Neukonzeption eines Rades führen. Dann ist auch keine Konformitätsbewertung vom Händler durchzuführen.

Weiterhin wird betont, dass Fahrradhändler, wenn sie Komponenten an einem Pedelec tauschen, dieselbe Sorgfalt walten lassen müssen, wie bei jedem Fahrrad ohne Elektroantrieb.

Dazu zählt, dass der jeweilige Händler sicherstellen muss, dass die neu verbauten Komponenten für den jeweiligen Einsatzzweck sicher und geeignet sind.“

Erlischt die Konformitätserklärung beim Bauteiletausch beim Pedelec 45?

Info

Pedelects 45 dürfen nicht umgebaut werden. Sie verlieren dann ihre Typgenehmigung.

Allgemein gilt:

Ein Pedelec muss, wie alle Fahrräder, die Anforderungen der jeweiligen nationalen Verkehrs Vorschriften und die geltenden Normen erfüllen.

2.9 Manipulationen

Manipulationen an Pedelects haben schwerwiegende technische und rechtliche Konsequenzen zur Folge.

Erhöht man die Abschaltgeschwindigkeit und/oder die Geschwindigkeit der Anfahr/Schiebehilfe über die vorgeschriebenen Grenzwerte, führt das zu einer Änderung der Fahrzeugkategorie (ggf. auch nur „aus Versehen“). Das Pedelec wird zulassungs- und versicherungspflichtig. In diesem Fall sind die Beantragung und der Erwerb einer Einzelzulassung bei einer technischen Prüforganisation erforderlich. Weiterhin entfallen seitens des Herstellers Haftung, Gewährleistung und (falls vorhanden) die Garantie.

Info

Verantwortungsbewusste Zulieferer, Hersteller, Werkstätten und Händler sind gegen jede Manipulation an Pedelects, die der Erhöhung der Abschaltgeschwindigkeit und/oder der Geschwindigkeit der Schiebehilfe dient. Sie unterbinden die Möglichkeit zur Manipulation mit den technisch verfügbaren Mitteln. Service Tools, mit denen man die Softwareparameter verändern kann, sollten nur Zulieferern, Herstellern und Fachhändlern zur Verfügung stehen.

2.9.1 Technische Konsequenzen

- Überlastung von Bauteilen. Sicherheitsrelevante Bauteile können brechen.
- Motor und Akku können sich aufgrund der höheren Belastung stark erhitzen. Irreparable Schäden sind die Folge.
- Stärkerer Verschleiß der Bauteile. Der Antriebsstrang und die Bremsanlage werden bei manipulierten Geschwindigkeiten stärker beansprucht.

2.9.2 Rechtliche Konsequenzen

Beispiel: Ein Fachhändler erhöht an einem Pedelec 25 die Abschaltgeschwindigkeit auf > 25 km/h und/oder die Geschwindigkeit der Schiebehilfe auf > 6 km/h. Das Pedelec wird zum Kleinkraftrad und der Fachhändler zum Fahrzeughersteller. Das ist mit Verantwortlichkeiten verbunden, u. a. dem Erstellen einer Übereinstimmungsbescheinigung (Konformitätserklärung, COC-Papier), in dem die technischen Details und Merkmale des S-Pedelecs angegeben werden.

Weiterhin müssen im Sinne der Produkthaftung Personen- und Sachschäden ersetzt werden, die durch ein fehlerhaftes Fahrzeug verursacht wurden. Eine strafrechtliche Verantwortung ist nicht ausgeschlossen. Hier kann der Tatbestand der fahrlässigen Körperverletzung geltend gemacht werden.

Die Haftpflichtversicherung erlischt, wenn die Veränderung am Fahrzeug dem Versicherer nicht gemeldet wurde.

2.10 Tuning

Geschwindigkeiten über 50 km/h können mit einem E-Tuning problemlos erreicht werden. Doch wie funktioniert das Aufrüsten mit den Tuningkits? Wie ist die rechtliche Grundlage?

Soll der Motor das Bike über 25 km/h unterstützen, so muss dem System ein langsames Tempo vorgespielt werden, als es eigentlich der Fall ist. Das funktioniert mit einem kleinen elektronischen Gerät, das zwischen Lauftrad und Computereinheit angebracht wird.

Tuning mit *Dongles* und *Chips* sind verbreitete Methoden (siehe auch Kap. 6.6).

Die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Fahrradwirtschaft (AGF) sprechen sich gegen jede Art der Manipulation an Elektrofahrrädern und elektrischen Antriebssystemen der deutschen und internationalen Fahrradindustrie aus, die der Steigerung der Leistung oder der maximalen Unterstützungsgeschwindigkeit dienen sollen.

Die AGF besteht aus folgenden Mitgliedern:

- Zweirad-Industrie-Verband (ZIV)
- Verband des Deutschen Zweiradhandels (VDZ)
- Verbund Service und Fahrrad (VSF)
- BICO Zweirad Marketing GmbH
- Bundesinnungsverband für das Deutsche Zweiradmechaniker-Handwerk (BIV)

Die AGF weist ausdrücklich darauf hin, dass Manipulationen am Antriebssystem des Pedelecs schwerwiegende negative Folgen sowohl technischer als auch haftungsrechtlicher Natur haben können. Folgende Maßnahmen werden ergriffen, um Manipulation und Tuning zu verhindern (ein Auszug):

- Der ZIV stellt sicher, dass alle Anforderungen an die Manipulations-Sicherheit, die in dem Entwurf der EN 15194/2017 enthalten sind, erfüllt werden. Es wird kontinuierlich an der Verbesserung der Antriebs-Systeme gearbeitet, um Manipulationen zu erschweren.
- In allen Veröffentlichungen der Industrie, des Handels und des Zweiradhandwerks sprechen sich die Akteure gegen Tuning von Pedelecs aus und weisen auf die rechtlichen Konsequenzen hin.
- Es werden Maßnahmen ergriffen, um das Bewusstsein für die Risiken und Gefahren von Manipulationen bei allen Beteiligten zu schaffen. Dies gilt für Händler und Endverbraucher.
- Die AGF wird bei gemeinsamen Veranstaltungen mit anderen Verbänden der Fahrrad-/E-Bike-Branche regelmäßig über das Thema Tuning informieren.
- Die AGF wird Händlern und Endverbrauchern Informationen über die vorgeschriebene Kennzeichnung von schnellen Pedelecs (Pedelec 45) (u. a. Versicherungskennzeichen, Hersteller, Typenschild) zur Verfügung stellen, um diese Fahrzeuge zu identifizieren.
- Die AGF wird bezüglich Tuning die Vernetzung von Industrie, Händlerverbänden, Verbraucherorganisationen, Polizei, Unfallforschungseinrichtungen, Gutachtern, Prüfinstituten und Fachmedien organisieren.