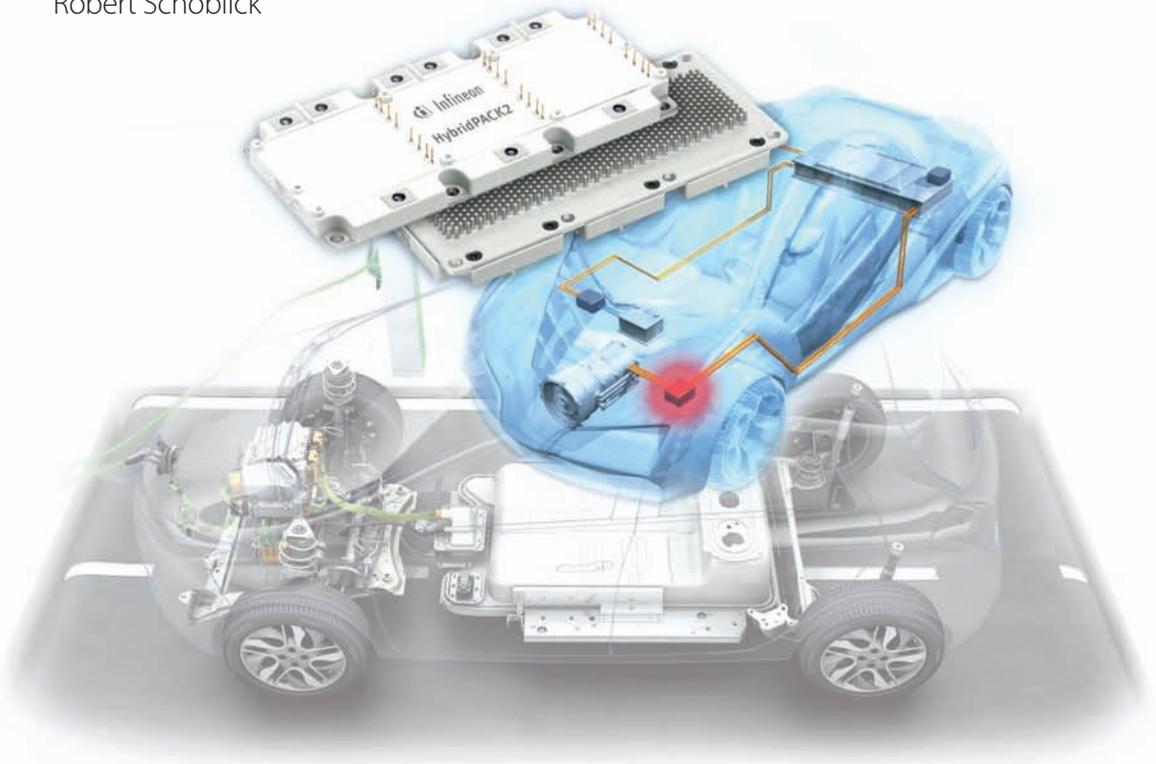


Robert Schoblick



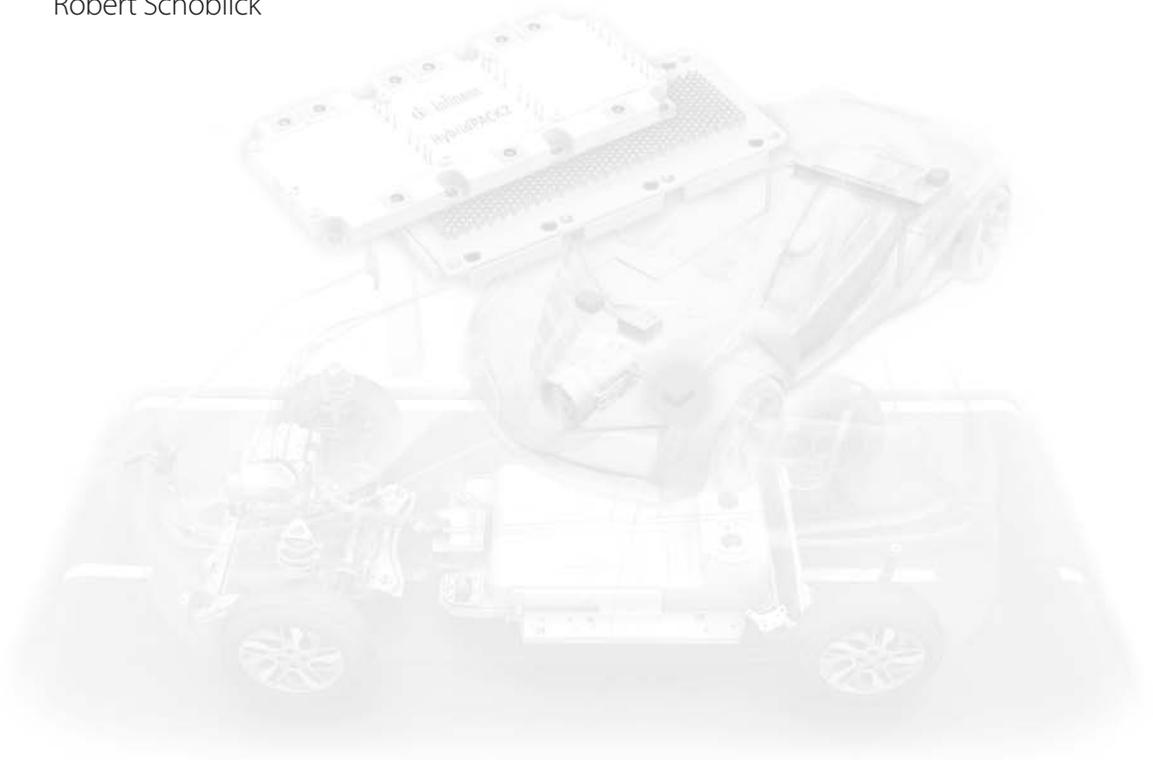
# Antriebe von **Elektroautos** **in der Praxis**

Motoren · Batterietechnik · Leistungstechnik

Robert Schoblick

# **Elektroautos in der Praxis**

Robert Schoblick



# Antriebe von **Elektroautos** **in der Praxis**

Motoren · Batterietechnik · Leistungstechnik

## Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2013 Franzis Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

**Satz:** DTP-Satz A. Kugge, München

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://www.ideehoch2.de)

**Druck:** C.H. Beck, Nördlingen

Printed in Germany

**ISBN 978-3-645-65166-0**

# Vorwort

Elektroautos haben eine lange Geschichte, sie sind beinahe so alt wie das Automobil selbst. Bereits 1899 entwickelten Ludwig Lohner und Ferdinand Porsche das erste Hybridauto, das 1900 auf der Weltausstellung in Paris der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Das Konzept wurde zunächst gut angenommen: Feuerwehrfahrzeuge wurden mit Hybridantrieb ausgestattet, und Taxen fuhren mit Elektroantrieb. Der Lohner-Porsche war mit Radnaben-Motoren ausgestattet und erreichte rein elektrisch eine Geschwindigkeit von 35 km/h. Das klingt langsam, jedoch muss man die Verhältnisse der Zeit kennen: 1909 wurde der Führerschein eingeführt und im »Gesetz über den Verkehr mit Kraftfahrzeugen« festgelegt, dass die Höchstgeschwindigkeit bei 15 km/h liege.

Ludwig Lohner muss posthum eine beachtliche Weitsicht bescheinigt werden, denn seine Ideen waren bereits vom Umweltschutz getrieben: »Elektroautos lassen sich einfacher und schneller starten. Nicht zuletzt produzieren sie keine unmittelbaren Abgase. Im Gegensatz dazu werden Benzinmotoren in großer Anzahl die Luft erbarmungslos verderben.« Das Elektroauto setzte sich schließlich damals nicht durch, was an verschiedenen Faktoren lag.

Das Elektroauto steht heute nicht allein für Umweltschutz, sondern vor allem für Unabhängigkeit von den Entwicklungen der Ölpreise. Wer als Eigenheimbesitzer ein Elektroauto mit einer Photovoltaik-Anlage kombiniert, senkt seine Stromkosten und fährt zudem nahezu kostenlos. Bewohner von Stadtwohnungen können sich an Solar-genossenschaften beteiligen und so ebenfalls vom günstigen Strom aus regenerativen Quellen profitieren.

Elektromobilität ist eine Herausforderung für engagierte Ingenieure, die neue Wege suchen. Und dass sich Design und Funktionalität durchaus positiv treffen können, beweisen viele Ansätze.

Die Batterietechnik ist das künftige Schwergewicht der Ingenieursarbeit, denn auch Elektroautos müssen auf absehbare Zeit langstreckentauglich werden. Gleichzeitig setzt das Fahrzeuggewicht Grenzen. Moderne Leistungselektronik ist schon jetzt serienreif. Der Bau von Elektromotoren hat in Deutschland eine lange Tradition und die Branche steht für Qualität.

Ein Elektroauto ist keine Zauberei, die Technik kein Geheimnis und das Know-how ist vermittelbar. Dieses Buch führt in die elektrotechnischen Grundlagen ein, stellt Elektromotoren, die Technik und die Grenzen der Leistungselektronik sowie moderner Batterien vor. Diskutiert werden auch Sicherheitsaspekte, die besonders im Falle eines Unfalls nicht nur Mechaniker und den Fahrer, sondern auch Rettungs- und Bergungskräfte betreffen.

Elektroautos werden die Mobilität der Zukunft gestalten. Sie werden einen aktiven Beitrag zum Umweltschutz und zur persönlichen Unabhängigkeit von globalen Marktkapriolen leisten. Bei allen Schaltbildern und Formeln soll dieses Buch etwas Wichtiges nicht verbergen: Es macht Spaß, ein Elektroauto zu fahren! Es lohnt sich, das selbst auszuprobieren. Gelegenheiten dazu werden oft geboten, z. B. auf Messen wie der eCarTec in München oder der Auto&Bike in Klagenfurt. Beide Messen finden jährlich statt und bieten Elektromobilität zum Erleben.

Viel Erfolg mit einem neuen Weg in die Mobilität!

Herzlichst, Ihr

Robert Schoblick

[www.e-emotion.net](http://www.e-emotion.net)

# 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>

# 1 Elektrofahrzeuge

Das Elektroauto gilt als Fortbewegungsmittel der Zukunft: Es verursacht keine Emissionen, fährt, vom Reifengeräusch abgesehen, nahezu lautlos und hat das Potenzial, das Autofahren zu revolutionieren. Vor einigen Jahrzehnten, als der Benzinpreis noch keine Rolle spielte, waren Autos wahre Schmuckstücke. Das Design und natürliche Faktoren wie Geschwindigkeit und Beschleunigung waren ein Statussymbol. Doch damals bestaunte man Geschwindigkeiten, die heute zum allgemeinen Durchschnitt zählen. Zugegeben: Ein leistungsstarker Sportwagen oder eine Limousine der gehobenen Mittelklasse lässt die Tachometernadel mühelos jenseits der 250 km/h-Marke drehen. Kann ein Elektroauto da mithalten? Elektro, das ist doch »Öko«! Manche assoziieren damit langhaarige »Freaks«, Träumer und Weltverbesserer, ohne dass sie fundierte Kenntnis der Zusammenhänge hätten.

Noch vor einigen Jahren wurden Elektroautos von Idealisten in Garagen gebaut. Manche dieser Vehikel sahen nicht nur abenteuerlich aus, sie waren auch unkomfortabel und nicht besonders schnell. Heute ist klar: Die Ergebnisse dieser in den 70er-Jahren expandierenden Arbeit haben die Welt verändert.

Elektromobilität ist nichts Neues und doch werden Ziele bis zum weit entfernten Jahr 2050 gesetzt, die den Klimaschutz betreffen. Das zweite Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts ist entscheidend für das Umdenken im Straßenverkehr. Die Abkehr vom Verbrennungsmotor ist eine große Chance für technische Innovationen. Sie wird neue Märkte eröffnen, doch sie steht großen, heute existierenden Märkten entgegen: Die Automobilbranche will Börsenerfolge und Unternehmenswachstum sehen. Alle Betreiber öffentlicher Verkehrsmittel arbeiten nach dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit. Die Erdölbranche verdient am Straßenverkehr Milliarden, Tendenz steigend. Umwelt-, Klimaschutz und innovative, vor allem aber unabhängige Mobilität durchzusetzen wird wegen politischer und wirtschaftlicher Interessen schwierig werden. Solange aber Techniker Freude an Innovationen haben, wird sich diese Art der Mobilität über kurz oder lang trotz aller Widerstände durchsetzen.

Die ersten Elektroautos gab es schon vor über 100 Jahren, und es gab sogar Jahre, in denen mehr elektrische Autos als Autos mit Verbrennungsmotor auf den Straßen fuhren. Es erscheint wie eine Ironie, dass es ausgerechnet ein Elektromotor war, der den Verbrennungsmotoren zum Durchbruch verhalf: in der Form des Anlassers! Schließlich wollte man sich nicht an der verschmierten Kurbel die Hände schmutzig machen.

Üblich sind Elektroantriebe in der Industrie z. B. bei Flurförderzeugen oder bei der Bahn.

## 1.1 Eisenbahn

Bahnen, ganz gleich ob Straßenbahn oder S-Bahn, U-Bahn oder Fernbahn, erfordern eine kostspielige Infrastruktur. Es müssen Gleise verlegt und Bahnhöfe errichtet und betrieben werden. Die Bahn ist jedoch ohne Frage ein sehr schnelles Transportmittel und das klassische Beispiel für Elektromobilität. Seit Jahrzehnten dominieren elektrische Antriebe die Bahn. Der Elektroantrieb ist hier unbestritten von Vorteil, allerdings braucht eine Lokomotive keinen Energiespeicher an Bord, denn sie bezieht ihren Strom über den Fahrdrabt und die Gleise.

Bei der Bahn bietet der elektrische Antrieb viele Vorteile: Neben dem gegenüber Diesellokomotiven leisen Motorengeräusch bieten elektrische Triebwagen einen sanften Anlauf bei gleichzeitig hohen möglichen Endgeschwindigkeiten. So erreicht der ICE 3 eine Geschwindigkeit von über 320 km/h.

Natürlich ist eine Leistung von rund 9.000 kW (ca. 11.000 PS) nicht über den Anschluss an eine Haushaltssteckdose zu bedienen. Die Bahn speist ihre Triebwagen über Hochspannungsleitungen, um möglichst kleine Ströme und damit dünne Leiterquerschnitte der Fahrdrähte zu erreichen. 15 kV beträgt die Spannung am Fahrdrabt der Deutschen Bahn AG bei einer Netzfrequenz von 16,7 Hz. Das entspricht aus historischen Gründen ungefähr einer Frequenz von einem Drittel des öffentlichen Versorgungsnetzes. Der ICE kann allerdings auch auf Trassen eingesetzt werden, die mit einer Spannung von 25 kV/50 Hz arbeiten. Das betrifft viele osteuropäische Staaten.

### **Gefährliche Mutproben!**

Ein offenbar beliebter »Sport« unter abenteuerlustigen Jugendlichen ist das »Surfen« auf Bahnen. Abgesehen von der Tatsache, dass das grundsätzlich untersagt und strafbar und die Unfallgefahr durch Abstürzen enorm ist, stellt die Hochspannung an sich ein großes Risiko dar: Gegeben ist sowohl die Gefahr eines Stromschlags bei direkter Berührung leitender Teile als auch das Risiko, durch einen überspringenden Lichtbogen Verbrennungen und tödliche Stromschläge zu erleiden. Für Rettungskräfte ist bei Spannungen von 1 kV bis 110 kV bei Bergungs- und Rettungseinsätzen ein Abstand von 3 m zu den Spannung führenden Teilen vorgeschrieben.



**Bild 1.1:** Auch das ist Elektromobilität mit 11.000 PS: Foto: Uwe Miethe/Deutsche Bahn AG

Die Bahn ist auch für den elektrisch betriebenen Individualverkehr ein wichtiges Element auf Fernstrecken, die von rein elektrisch betriebenen Pkws derzeit noch nicht überwunden werden können. In einem modernen Verkehrskonzept bietet die Bahn zuverlässige und angemessen getaktete Verbindungen für mittlere und ferne Reisestrecken. Die Bahn ist darüber hinaus ein wichtiges Element in Park-and-ride-Konzepten. An Bahnhöfen müssen aber in ausreichender Menge Ladesäulen für Elektrofahrzeuge sowie in Ballungsräumen umfassende Busliniennetze und Carsharing-Lösungen mit elektrisch betriebenen Fahrzeugen vorgesehen werden. Konzepte dieser Art sind noch Zukunftsmusik und in erster Linie mit politischen und wirtschaftlichen Hemmnissen behaftet. Aber sie eröffnen die Chance für eine saubere Mobilität, die Entlastung von Ballungsräumen und neue Potenziale für die Wirtschaft.

## 1.2 E-Bikes

Elektrofahrräder, Pedelecs/E-Bikes sind ein Fortbewegungsmittel mit großer Zukunft. Sie stehen nicht in direkter Konkurrenz zu den klassischen Kraftfahrzeugen, sondern sind und bleiben Fahrräder, die jedoch mit einem Elektroantrieb unterstützt benutzt werden können. Das ist sinnvoll bei Fahrten an Steigungen oder auch für ältere und schwächere Menschen, denen mit einem E-Bike auch längere Ausflüge ermöglicht werden. E-Bikes kommen mit sehr preiswerten Akkus aus, die vom Rad getrennt und an einem Ladegerät im Haus geladen werden können. Eine spezielle Ladeinfrastruktur ist

im öffentlichen Straßenverkehr nicht unbedingt erforderlich, jedoch würde dadurch auch die Mobilität mit E-Bikes gefördert.

Es gibt interessante Konzepte, um auch herkömmliche Fahrräder nachzurüsten. Eine solche Lösung war auf der eCarTec 2012 in München zu sehen: Motor, Akku und Steuerelektronik sind gemeinsam im Vorderrad untergebracht. Es wird lediglich das Vorderrad gegen dieses Modul ausgewechselt und der Anschluss zu den Schaltelementen am Lenker verlegt. Die Module kommunizieren drahtlos per Bluetooth miteinander. Wermutstropfen dieses Systems: Die Masse des Rads ist sehr groß. Fahrten im Gelände (Mountainbikes) sollten mit diesem System nicht ausgerüstet werden, um die Gabel des Rads nicht zu belasten.

Gängige Ansätze der Elektrifizierung von Fahrrädern sind Mittelmotoren, die im Tretlager eingebaut sind, oder Radnabenmotoren, die direkt auf das Hinterrad wirken. Für den Antrieb von E-Bikes kommen z. B. kleine Gleichstrom- und Universalmotoren zum Einsatz, die Leistungen von ungefähr 500 W haben.



**Bild 1.2:** E-Bikes sind flexible und einfach konstruierte Elektrofahrzeuge, die nicht nur in der Freizeit sinnvoll eingesetzt werden können.



**Bild 1.3:** Pedale sind hier überflüssig, denn es handelt sich nur optisch um ein Fahrrad. Man fährt mit einem Elektroantrieb.



**Bild 1.4:** In einer Fahrrad-Rikscha können Touristen in Innenstädten wie Berlin und München bereits entspannt die Sehenswürdigkeiten bewundern. Den Chauffeur unterstützt bei diesem Fahrzeug ein leistungsfähiger Elektromotor.

### 1.3 Elektro-Scooter

E-Scooter sind derzeit das beliebteste Fahrzeug mit rein elektrischem Antrieb. Auch sie liegen in den Anschaffungskosten deutlich über vergleichbaren Modellen mit Verbrennungsmotor, sind aber trotzdem zu einem erschwinglichen Preis zu bekommen. Nachteilig ist, dass derzeit vorwiegend preiswerte Bleiakkus als Energiespeicher verwendet werden, deren Anzahl an Vollladezyklen deutlich unter denen moderner Batterien liegt, wie sie in elektrischen Pkws verbaut werden.

E-Scooter gibt es sowohl in der »Moped«-Klasse (bis maximal 45 km/h) als auch in einer mit kleinen Krafträdern vergleichbaren Klasse. Das Fahren mit einem E-Scooter macht es leicht, sich mit elektrisch angetriebenen Fahrzeugen anzufreunden. Das Drehmoment ist vom Start weg ausgesprochen kraftvoll und die Beschleunigung beeindruckend. E-Scooter bringen deswegen viel Fahrspaß und machen besonders der jugendlichen Zielgruppe viel Freude.



**Bild 1.5:** Die kleinen elektrischen Flitzer haben das Potenzial, schon recht bald Roller mit Verbrennungsmotor in der Klasse bis 45 km/h vollständig zu ersetzen. Sie bieten nicht nur umweltfreundliche Mobilität, sondern auch jede Menge Fahrspaß.



**Bild 1.6:** Nicht lachen! »Tante Paula« ist ein geniales Fahrzeug, denn mit wenigen Handgriffen ist es so klein, dass es bequem neben den Einkäufen im Kofferraum Platz findet. Vom Park-and-ride-Parkplatz aus erreicht man mit diesem Miniflitzer jedes Ziel in der Innenstadt.

## 1.4 Elektronutzfahrzeuge

Dem Elektroauto wird aus unterschiedlichen Gründen großer Widerstand entgegen gebracht. Ein wesentlicher Kritikpunkt ist die noch begrenzte Reichweite mit einer Akkuladung. Bei kleineren Nutzfahrzeugen ist der Elektroantrieb jedoch längst eine etablierte Alternative. Hier spielt, neben der Wartungsfreundlichkeit der Fahrzeuge, die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle. Immer mehr in den Vordergrund rückt auch der Image-Gewinn für Unternehmen, die durch umweltfreundliche Konzepte und entsprechendes Handeln Zeichen setzen.

Elektroantriebe spielen bei Flurförderzeugen schon seit Jahren eine wichtige Rolle. Automatische Transportfahrzeuge, die, von Induktionsschleifen im Boden geleitet, ein wichtiger Teil der Logistik im Produktionsprozess sind, arbeiten rein elektrisch, weil innerhalb der Hallenkomplexe keine Abgase toleriert werden.

Auch im Bereich der Nutzfahrzeuge greift man mittlerweile nach den Sternen und baut größere Maschinen wie z. B. Müllentsorgungsfahrzeuge. Die Benteler-Gruppe hat 2012 ein Müllentsorgungsfahrzeug mit einem Hybridantrieb entwickelt, bestehend aus einem konventionellen Dieselmotor und einem hochleistungsfähigen Elektroantrieb. Das tonnenschwere Fahrzeug ist eine klare Ansage an die Ingenieure des Automobil- und Nutzfahrzeugbaus, denn ein Müllentsorgungsfahrzeug ist hochkomplexe Technik. Im Sammelbetrieb wird das Fahrzeug nicht nur rein elektrisch angetrieben und fährt damit nahezu geräuschlos durch die Straßen, auch das bei konventionellen Modellen lautstarke Presswerk arbeitet weit unterhalb der Lärmgrenzwerte. So verursacht neben einem Surren der Presse nur das Klappern der Container am Heck Geräusche. Hier wird der Elektroantrieb – wenngleich das Fahrzeug deutlich teurer ist als eine klassische Ausführung – auch wirtschaftlich und stadtplanerisch sinnvoll. Durch den leisen Betrieb des Fahrzeugs können die Abholzeiten auch in die Nacht verlegt werden. Das entlastet die Straßen vor allem im Berufsverkehr, in dem sich tagtäglich hinter den Müllsamm-

lern Staus bilden. Denkbar ist auch ein Mehrschichtbetrieb, durch den das Fahrzeug besser ausgelastet wäre und wirtschaftlicher betrieben werden könnte.

Rein elektrisch fährt das Müllentsorgungsfahrzeug allerdings nur während des Sammelbetriebs. Der Weg zur Deponie wird mit dem Dieselmotor zurückgelegt. Dieser Kompromiss ist bei der heute verfügbaren Batterietechnologie bisweilen nötig, um dem Fahrzeuggewicht und der erforderlichen Leistungsfähigkeit gerecht zu werden. Für den Mehrschichtbetrieb sind zudem Schnellladesysteme oder Batteriewechsel von entscheidender Bedeutung.



**Bild 1.7:** Dieses kleine Straßenreinigungsfahrzeug wird rein elektrisch angetrieben. Es eignet sich hervorragend für den Einsatz in Wohngebieten, wo es geräuscharm operieren kann. Foto: Gabi Schoblick/*e-emotion.net*

## 1.5 Oberleitungsbusse

Oberleitungs(O-)busse gibt es seit vielen Jahrzehnten. Ihre Geschichte reicht bis in das Jahr 1882 zurück, als die Wagonette von Siemens & Halske in Berlin-Halensee das erste Mal Passagiere beförderte. Lange Zeit waren Oberleitungsbusse aus den meisten Stadtbildern weitgehend verschwunden. Heute erleben sie eine Renaissance und werden sogar als Gelenkbusse ausgelegt.

Der große Nachteil des Oberleitungsbusse ist der erforderliche doppelte Fahrdrat, der nicht unbedingt als Zierde des Straßenbilds anzusehen ist. Er stellt eine Gleichspannung von 600 V zur Verfügung. Die Spannungen können jedoch in den einzelnen Netzen verschiedener Städte anders definiert sein. Der große Vorteil eines Oberleitungsbusse ist, dass kein Schienennetz und keine kompliziert zu wartenden Weichen zu betreiben sind. Straßenbahnen benötigen dagegen diese teure Infrastruktur.

Oberleitungsbusse sind sinnvoll bei stark frequentierten Linien. Die Kosten für eine stark befahrene Strecke können wirtschaftlich durchaus langfristig mit denen für autarke elektrisch angetriebene Busse verglichen werden, deren Batterien sehr teuer sind und in

jedem Fahrzeug vorhanden sein müssen. Oberleitungsbusse benötigen sperrige und teure Batterien, außerdem müssen Standzeiten für deren Ladung kalkuliert werden.

Oberleitungsbusse müssen wie konventionelle, mit Diesel angetriebene Busse regelmäßig gewartet werden. Zwar benötigen sie keine regelmäßigen Tankfüllungen, dafür sind die Kontaktschuhe an den Stromabnehmern starkem Verschleiß ausgesetzt. Es werden Wechselintervalle von 400 km bis 1.000 km genannt. Kohleschleifkontakte haben sich im Laufe der Jahrzehnte als die beste Lösung erwiesen. Systeme mit Rollenkontakten erwiesen sich als untauglich, weil sie starken Funkenflug und entsprechenden Verschleiß an den Stromabnehmern und an den Fahrdrähten verursachten.

Seit Jahrzehnten bewährt und einfach in der Konstruktion ist die Technik der Stromabnehmer. Die beiden bis zu 6 m langen Stromabnehmerstangen sind unabhängig voneinander aufgehängt. Sie sind sowohl in der Höhe als auch zur Seite beweglich. Das ist wichtig, weil sie sonst in einer Kurvenfahrt oder bei einem einfachen Spurwechsel den Kontakt zum Fahrdraht verlieren würden. Man spricht von einer »Entdrahtung«. Grundsätzlich werden die Stromabnehmer bei Wartungsarbeiten und in den Standzeiten vom Fahrdraht kontrolliert getrennt. Eine Entdrahtung kann auch im regulären Betrieb passieren. In diesem Fall werden die Stromabnehmerstangen mit pneumatischen Systemen in eine definierte Position gebracht, um Schäden an Fahrzeugen, Straßenlaternen und Fenstern zu vermeiden. Ältere oder technisch einfachere Fahrzeuge sind mit Fangdrähten ausgestattet.

Das Eindrahten erfolgt entweder manuell mithilfe einer speziellen Hilfsstange oder automatisch beim Durchfahren eines Eindrahttrichters, den es an bestimmten Stellen der Anlage gibt. In der Regel sind Oberleitungsbusse keine reinen Elektrofahrzeuge und besitzen zusätzlich zum Elektroantrieb einen Dieselmotor. Dieser dient aber nur für den Notbetrieb bei einer Trennung vom Netz oder einem Stromausfall. Der reguläre Fahrbetrieb erfolgt rein elektrisch.



**Bild 1.8:** Oberleitungsbusse sind eine emissionsfreie und geräuscharme Alternative zu Bussen mit Dieselantrieb. Sie gehören nach der Straßenbahn zu den ältesten rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugtypen überhaupt. Foto: Salzburg AG

## 1.6 Experimentelle Fahrzeuge

Der Bau eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs ist seit Jahren eine besondere Herausforderung für ambitionierte Bastler. Gefördert wurden diese Projekte meist von Universitäten, aber auch private Hobby-Tüftler, meist aus der alternativen Szene, entwarfen zum Teil abenteuerliche Vehikel. Die Arbeit all dieser Enthusiasten sollte allerdings nicht nur belächelt werden, denn aus ihr konnten wertvolle Erfahrungswerte gewonnen werden.

Erprobt wurden auch Kombinationen von Pedal- und Elektroantrieb. Hier sind bemerkenswerte Fahrzeuge mit Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 80 km/h entstanden. Spektakulär sind Solar-Rallyes, wie sie unter anderem vom VDE und Hochschulen organisiert werden (vgl. [www.solarmobil-deutschland.de](http://www.solarmobil-deutschland.de)).

In einer echten Kleinserie wurde der CityEl, ein elektrisches Dreirad, gebaut. Man liegt in dem Fahrzeug und genießt ein Fahrgefühl wie im Cockpit eines Segelflugs. Die Straßenlage ist wie bei jedem Dreirad gewöhnungsbedürftig. Schnelle Kurvenfahrten können zum Kippen des einsitzigen Fahrzeugs führen. Der CityEl ist im Verbrauch extrem sparsam, und es macht großen Spaß, mit dem Vehikel zu fahren.



**Bild 1.9:** Der CityEl wurde in einer Kleinserie gefertigt und fand viele Liebhaber.



**Bild 1.10:** Man hat das Gefühl, im Cockpit eines Segelflugszeugs zu sitzen. Das elektrische Dreirad ist sparsam im Verbrauch.

## 1.7 Elektroautos

Hersteller von E-Bikes, E-Scootern und kleinen Nutzfahrzeugen haben den Elektroantrieb längst für sich entdeckt und in die Serienreife geführt. Die führenden Automobilhersteller ziehen erst allmählich nach. Von den deutschen Automobilmarken hat Mercedes einen kleinen Vorsprung und zumindest mit einer ersten, aber durchaus ernst zu nehmenden Vorserie ein rein elektrisches Auto hergestellt. Die A-Klasse E-CELL besteht ohne Probleme jeden Elchtest. Die ersten rein elektrischen Kleinserien kamen allerdings in Kooperation mit dem japanischen Hersteller Mitsubishi aus Frankreich: Citroën C-Zero, Peugeot iOn und Mitsubishi i-MiEV. Der französische Automobilhersteller Renault hat mit einem rein elektrischen Fluence Z. E. den Bereich der Mittelklasse-Limousinen erschlossen. Auch mit dem Transporter Kangoo Z. E. sowie dem Kleinwagen Zoe Z. E. hat er Serienfahrzeuge im Markt etabliert. Der Twizy, eigentlich eher ein überdachtes Quad, avanciert zu einem Kultfahrzeug.



**Bild 1.11:** Nur eine kleine Vorserie aus dem Hause Daimler, aber bereits alltagstauglich: Die Mercedes-A-Klasse E-CELL konnte mit reinem Elektroantrieb auf dem Fahrsicherheits-Testgelände des österreichischen Automobilclubs ÖAMTC überzeugen und bestand auch den »Elchtest« ohne Probleme.

Wer aber meint, Elektroautos seien nur Kleinwagen und ihnen fehle die Sportlichkeit, der kennt die Umbauten der bayerischen Firma RUF Automobile GmbH noch nicht. Sie rüsten die Porsche-Sportwagen mit Elektroantrieben aus, ohne ihnen den Biss zu nehmen. Der amerikanische Hersteller Tesla machte mit dem Roadster Fuore und die Kritiker sprachlos. Zwar regelt der schnittige Sportwagen bei 200 km/h elektronisch ab, aber eine Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in nur 3,8 Sekunden braucht keine weiteren Worte mehr.

Die Schwachstelle des Elektroautos ist seine begrenzte Reichweite mit einer Vollladung, die, je nach Modell, zwischen 120 km und 200 km liegt. Danach ist wieder ein voller Ladezyklus erforderlich, der, je nach Batteriekapazität, 6 bis 10 Stunden an einer 230-V-Haushaltssteckdose (Achtung: 16-A-Absicherung bei entsprechend dimensionierten Leiterquerschnitten!) dauern kann. Auch kraftvolle Schnellladesysteme sind bereits verfügbar. Jedoch sollte man dieses Ladeverfahren nur dann wählen, wenn die volle Ladung der Fahrzeugbatterien unbedingt in kurzer Zeit wieder benötigt wird, denn eine Schnellladung strapaziert die Lebensdauer einer Batterie, die auch bei moderner Lithium-Ionen-Technik nur ein chemischer Speicher ist.

#### **Das Problem der Reichweite**

Elektroautos sind nach wie vor scharfer Kritik ausgesetzt, die nicht immer einen seriösen Hintergrund hat. Unstrittig ist noch immer die begrenzte Reichweite selbst moderner Elektroautos. Langstreckenfahrten sind nach wie vor nicht möglich. Anders sieht es im durchschnittlichen Alltag aus. Konventionelle Autos werden ein bis zweimal in der Woche betankt und legen im Durchschnitt 500 km bis 700 km, oft sogar bedeutend weniger zurück. Hier punkten Elektroautos mit den bedeutend preiswerteren Energiekosten, die sich in Verbindung mit einer privaten Photovoltaik-Anlage oder der finanziellen Beteiligung an einer Photovoltaik-Großanlage noch weiter senken lassen. Ohne Frage ist es noch Aufgabe von Ingenieuren, das Speicherproblem zu lösen. Das Ritual des Tankstellenbesuchs wird es eines Tages nicht mehr geben. »Getankt«, besser: geladen wird beim Parken zu Hause, bei der Arbeitsstelle oder vor dem Einkaufszentrum. Die Infrastrukturen werden entstehen, es braucht aber eine gewisse Zeit. Ein Arbeitsplatzkiller an den Tankstellen ist die Elektromobilität gewiss nicht, denn bereits heute werden Tankstellen immer mehr mit Automaten ausgerüstet, an denen mit EC- oder Kreditkarte bezahlt wird.



**Bild 1.12:** Der Tesla-Roadster besticht durch eine sensationelle Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in nur 3,8 Sekunden. Wer will da noch sagen, Elektromobilität wäre »langweilig«?

## 1.8 Hybridfahrzeuge

Was ist ein Hybrid? Ist es in erster Linie ein Elektroauto oder ein Auto mit Verbrennungsmotor? Für den Mechaniker ist es zunächst einmal beides – zumindest dann, wenn das Auto rein elektrisch angetrieben werden kann und nicht nur eine Start-Stopp-Automatik bietet. Man spricht aber in diesem Fall bereits vom Mikrohybridfahrzeug. Im Hinblick auf Umweltbelastung und Energiekosten ist die Start-Stopp-Automatik eine sinnvolle Sache, denn in Standzeiten an Bahnübergängen und Ampeln vermeidet das Fahrzeug den Leerlauf. Die Anwohner in Innenstädten profitieren von weniger Abgasen bei Verkehrsstaus, und der Fahrer freut sich über einen geringeren Treibstoffverbrauch im Stadtverkehr. Auf Autobahnen und Landstraßen ist das Mikrohybridkonzept dagegen bedeutungslos, was insbesondere bei Langstreckenpendlern ein kritisches Argument ist.

Interessanter sind die sogenannten Mild-Hybrids. Sie besitzen neben dem dominanten Verbrennungsmotor einen Elektromotor, der entweder bei geringen Geschwindigkeiten das Fahrzeug allein antreibt oder bei starken Beschleunigungen kurzzeitig seine Leistung unterstützend zum Verbrennungsantrieb zur Verfügung stellt.

Toyota begann mit dem Prius-Hybrid sehr früh, dieses Konzept in Serienfahrzeugen umzusetzen. Die ersten Generationen dieses Modells besaßen noch keine Möglichkeit, die Batterie extern über eine Steckdose aufzuladen. Das bedeutet, dass die Batterien über einen Generator vom Verbrennungsmotor und über Rekuperation (Rückgewinnung von Brems- und Bewegungsenergie im Schubbetrieb) geladen wurden. Damit stand der Prius im Fokus der Kritik, weil er keine »saubere« Energie für den Antrieb nutze. Bei dieser Argumentation wurde außer Acht gelassen, dass das Fahrzeug bei geringen Geschwindigkeiten bis zu 2 km rein elektrisch fahren kann und somit z. B. in Wohngebieten (Tempo-30-Zonen) weder Lärm noch Emissionen verursacht. Hinzu kommt der Vorteil, den bereits ein Micro-Hybrid bietet: Im Stop-and-go-Verkehr arbeitet ein Elektromotor effizienter als ein Verbrennungsantrieb. Das spart Treibstoff und reduziert

die Emissionswerte erheblich. Die Batterien eines Mild-Hybrid sind in der Regel relativ klein bemessen, was sich positiv in den Preisen und im Gewicht des Autos niederschlägt.

*Plug-in-Hybrids* bieten die Möglichkeit, die Batterie extern aufzuladen. Sie können über ein spezielles Kabel direkt mit einer Ladesäule oder einer geeigneten Steckdose in der Garage verbunden werden. Meist wird man die Batterie größer dimensionieren und damit längere rein elektrische Fahrstrecken ermöglichen. Das wurde beim Prius-Hybrid-Plug-in sowie bei den im grundlegenden Design nahezu baugleichen GM-Fahrzeugen GM Volt und Opel Ampera umgesetzt. Der Prius soll eine rein elektrische Reichweite von bis zu 25 km haben. Opel gibt je nach Fahrweise Werte zwischen 40 km und 80 km bei einer Vollladung der Batterie an. Ist die Batterie erschöpft, wird die Fahrt mit dem Verbrennungsantrieb fortgesetzt. Ein Full-Hybrid kennt also keine Einschränkungen in der Reichweite wie ein reines Elektroauto.

Die Konzepte sind verschieden: Während Toyota das Fahrzeug direkt mit dem Verbrennungsmotor antreibt und den Elektromotor bei Bedarf ein- oder hinschaltet, wird der Opel Ampera rein elektrisch angetrieben. Der eingebaute Verbrennungsmotor treibt lediglich einen Generator an, der bei zusätzlichem Leistungsbedarf auch als Boost-Motor auf den Antrieb wirken kann. Während des Generatorbetriebs läuft der Verbrennungsmotor in einem optimal auf das Drehmoment abgestimmten Drehzahlbereich und damit mit dem besten Wirkungsgrad. Auch wenn durch den Generator und die Batterie Verluste zu kalkulieren sind, erweist sich dieses indirekte Antriebsprinzip als vorteilhaft, denn in Stop-and-go-Fahrzyklen kann der Verbrennungsmotor bei den Emissions- und Verbrauchseinsparungen nicht mit dem Elektromotor mithalten.



**Bild 1.13:** Der Opel Ampera ist ein Full-Hybridfahrzeug, das sowohl bis zu 80 km rein elektrisch als auch beliebig weit durch eigene Erzeugung elektrischer Energie mithilfe eines Verbrennungsmotors unterwegs sein kann.

#### Arten von Hybridantrieben

	<i>Start-/Stopp-automatik</i>	<i>Energierückgewinnung</i>	<i>Boost</i>	<i>Rein elektrisch fahren</i>
Micro-Hybrid	Ja	Nein	Nein	Nein
Mild-Hybrid	Ja	Ja	Ja	Ja, ca. 2 km
Full-Hybrid	Ja	Ja	Ja	Ja, 25 km bis 80 km

Der Begriff Hybridantrieb ist sehr weit gefasst. Gern werben die Automobilhersteller mit einer einfachen Start-Stopp-Automatik oder frech mit der Unterstützung elektrischer Verbraucher und bezeichnen das als »Hybridfahrzeug«.

## 1.9 EU-Fahrzeugklassen

In der EU ist es kaum denkbar, dass etwas nicht reglementiert oder in amtlichen Definitionen verankert ist. Es gibt EU-Fahrzeugklassen, die in der Richtlinie 2007/46/EG beschrieben werden und weit über das hinausgehen, was in der Beschreibung der Fahrerberechtigungen in den Führerscheinen vorgesehen ist. Der Grundgedanke dieser Fahrzeugklassen reicht bis in die 70er-Jahre zurück. Ziel war, Vorschriften für Ausstattungen und Grenzwerte für Abgasemissionen in vernünftigen Maßstäben festlegen zu können. Schließlich ist es z. B. wenig sinnvoll, einem Traktor ein drittes Bremslicht vorzuschreiben.

Folgende Fahrzeugklassen, in denen zusätzliche Unterklassen vorgesehen sind, werden in der EU-Richtlinie definiert:

EU-Fahrzeugklassen nach 2007/46/EG

<i>Klasse</i>	<i>Fahrzeugart</i>
C	Land- und forstwirtschaftliche Maschinen auf Gleisketten
L	zwei- oder dreirädrige und leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge
M	Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mindestens 4 Rädern
N	Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit mindestens 4 Rädern
O	Anhänger
R	Land- und forstwirtschaftliche Anhänger
S	gezogene auswechselbare land- und forstwirtschaftliche Maschinen
T	Zugmaschinen für gewerbliche Zwecke

### In der Elektromobilität relevante Fahrzeugklassen

Bis vor Kurzem war zweifellos die Fahrzeugklasse L die dominante Zielgruppe von Elektromobilitätsentwicklern. Hierzu gehören kleine Scooter und Kleinkraftfahrzeuge wie z. B. Micro-Cars mit maximalen Geschwindigkeiten von 45 km/h. Auch Busse mit Batterie- oder Hybridantrieb sowie Oberleitungsbusse (Fahrzeugklasse M) sind bereits mit elektrischen Antrieben auf der Straße. Die Klasse N (Güterbeförderung auf mindestens 4 Rädern) bietet ein bisher kaum erkanntes Potenzial für elektrische Antriebe. Als Beispiel sei wieder das Müllentsorgungsfahrzeug der Benteler-Gruppe in Kooperation mit MAN erwähnt. Schwerpunktthema dieses Buchs ist allerdings die Fahrzeugklasse M, zu der insbesondere Pkws zu zählen sind.

Hier war lange Zeit insbesondere von den Automobilbauern großer Widerstand in der Entwicklung zu erkennen. Erst als fernöstliche und französische Hersteller praxistaugliche Serienfahrzeuge auf die Straße brachten, legten auch deutsche Automobilbauer erste eigene Konzepte vor.



**Bild 1.14:** Null Emissionen! Mit diesem Elektroauto darf in jeder Umweltzone gefahren werden.

## 1.10 Elektroantriebe und Nachhaltigkeit

Konstrukteure von Elektrofahrzeugen müssen den Fahrzeugklassen der EU besondere Aufmerksamkeit schenken. Allein die Wahl des Antriebsmotors kann Einfluss auf die Einordnung in eine Klasse und damit auf die rechtlichen Rahmenbedingungen haben. So ist ein Elektromotor von 10 kW, 15 kW oder 20 kW deutlich kleiner als ein Verbrennungsmotor, der vergleichbare Fahreigenschaften bietet. Auch ist möglicherweise eine elektronische Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit vorzunehmen, obwohl der Antriebsstrang durchaus höhere Geschwindigkeiten bei guter Reichweite erlauben würde.

Zwischen einem Fahrzeug der Klasse L6e (z. B. Micro-Car), das mit einem sogenannten »Moped-Führerschein« gefahren werden darf, dessen Geschwindigkeit aber auf 45 km/h limitiert ist, und Fahrzeugen der Klasse M (Pkw), für die ein Führerschein der Klasse B erforderlich ist, besteht ein wesentlicher Unterschied. Mit einem leichten Kleinwagen, der elektrisch mit 4 kW angetrieben wird, können technisch durchaus auch Geschwindigkeiten von 60 km/h erreicht werden. Damit dürfte dieses Fahrzeug auch auf Bundesautobahnen fahren. Ob das unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherheit sinnvoll ist, ist eine ganz andere Frage.

Umgekehrt jedoch bietet ein elektrischer Antrieb völlig neue Möglichkeiten für Fahranfänger, denn theoretisch (und mit entsprechendem technischen Aufwand auch praktisch) ist es möglich, ein Elektroauto auf eine Führerscheinklasse zu programmieren. Ähnlich wie Zugangsausweise könnten elektronische Führerscheine eingeführt werden, die vom Fahrzeug erkannt werden. Ein Fingerabdrucksensor am Lenkrad identifiziert den Fahrer und schließt aus, dass z. B. ein heranwachsender Moped-Führschein-

inhaber mit dem B-Führerschein eines Elternteils eine Spritztour mit voller Motorleistung macht. Dieses Prinzip ist zudem eine recht wirksame Wegfahrsicherung, weil es integraler Bestandteil der Steuerelektronik des Fahrzeugs ist.

Je nachdem, welche Führerscheinklasse vom Fahrzeug erkannt wurde, wird das Auto im passenden Modus betrieben. Selbst bei einem Moped-Führerschein wäre dann das Fahren in einem Renault Fluence Z. E., dessen Antriebsmotor bis zu 70 kW (kurzzeitig) und 50 kW (permanent) zu leisten vermag, legal, wenn das Fahrzeug nur Geschwindigkeiten bis maximal 45 km/h zulässt und danach den Antrieb elektronisch abregelt. Elektronische Geschwindigkeitsbegrenzungen sind bei Elektroautos bereits gängige Praxis, um die Leistungselektronik zu schützen, den Motor nicht zu überlasten und vor allem die Reichweite nicht ins Bodenlose abstürzen zu lassen. Wie in diesem Buch noch zu sehen sein wird, steigt der Energiebedarf eines Fahrzeugs mit der Geschwindigkeit im Quadrat. Das bedeutet, dass ein Auto viermal mehr Energie benötigt, wenn es mit doppelter Geschwindigkeit unterwegs ist.

Natürlich gibt es – um bei einem vollwertigen Auto wie dem Fluence Z. E. zu bleiben – ein gewisses Problem: Das Fahrzeug ist einfach zu schwer, um mit nur 4 kW ernst zu nehmende Fahreigenschaften zu bieten. Hier sind die Richtlinien der Gesetzgebung bei Weitem nicht auf einem angemessenen Stand der Technik angekommen. Gerade Elektroantriebe sind es, mit denen es erstmals möglich ist, programmierbare Fahreigenschaften für ein Auto zu realisieren.

Jugendliche beginnen oft schon mit 16 Jahren eine Ausbildung und müssen mobil sein. Ihnen stehen Kleinkrafträder (Mopeds, Scooter) und Micro-Cars als Fortbewegungsmittel zur Verfügung (Führerscheinklasse M und S ab 16 Jahre). Mit der Klasse S können also auch Micro-Cars gefahren werden. Diese Fahrzeuge kosten neuwertig fünfstelligen Beträge und werden meist mit dem Erwerb eines Klasse-B-Führerscheins mit Verlust wieder verkauft. Hier liegt der Nachhaltigkeitsansatz, denn ein programmierbares Elektroauto kann nach Erwerb des B-Scheins sofort und ohne zusätzliche Kosten vollwertig benutzt werden. Der Fahranfänger bewegt sich in einer vertrauten Umgebung und ist sicherer unterwegs. Das trägt auch zur Verringerung des Unfallrisikos bei und schont Ressourcen für die Herstellung und Entsorgung von Altautos. Zudem ist elektrisches Autofahren grundsätzlich umweltschonend.

Ein Anwendungsgebiet solcher programmierbaren Fahrzeuge ist auch das Carsharing, denn die Mietfahrzeuge stehen dann sowohl Klasse-S- als auch Klasse-B-Scheininhabern zur Nutzung offen. Interessant sind natürlich auch die Möglichkeiten, die sich für behördliche Sanktionen bieten. Verkehrssünder, denen im ländlichen Raum nur eine schwache Erschließung mit öffentlichen Verkehrsmitteln geboten wird, könnten während einer Fahrverbotsphase auf Klasse S herabgestuft und per GPS-Koordinaten auf einen bestimmten Weg eingeschränkt werden. Somit bliebe eine gewisse Grundmobilität bewahrt, die auf das zwingend Erforderliche beschränkt ist. Elektromobilität eröffnet also ein breites Spektrum an Möglichkeiten, die Mobilität der Zukunft zu gestalten.

## 5 Ladestecker und Fahrzeugkabel

Elektrische Systeme in Autos werden immer komplexer. In einem konventionellen Auto findet man vielfältige elektrische Leitungen: Schwachstromleitungen, Antennenleitungen, Zündkabel, Hochstromleitungen (Niedervoltbereich an der Batterie und zum Anlasser) etc. Auch diese Kabel müssen eine gute Qualität haben und sorgfältig verlegt werden, um Kabelbrände zu vermeiden. In einem Elektroauto sind die Qualität und die Dimensionierung von Kabeln eng mit seiner Sicherheit verbunden. Kabel sind aber auch teuer, und deswegen ist ihre Auslegung und die Verlegung innerhalb des Fahrzeugs stets auch eine Frage der Wirtschaftlichkeit.

Das gilt auch für Ladekabel. Da es im internationalen Vergleich nach wie vor verschiedene Standards gibt, können bei der Auslieferung des Fahrzeugs durchaus mehrere Ladekabel vorgesehen werden. Selbst bei rein nationaler Nutzung des Elektroautos werden unter Umständen mindestens zwei Kabel benötigt: eines für den Ladeanschluss an das 230-V-Einphasen-Hausnetz und eines mit einem Typ-2-Stecker.

Bei Ladekabeln spielen sowohl elektrische Anforderungen als auch pragmatische Eigenschaften eine Rolle. Dazu gehören der Unfallschutz, der Schutz gegen Vandalismus und die mechanische Belastbarkeit des Kabels.

### **Ladestationen gehören zum Elektroauto**

Es empfiehlt sich für jeden Halter eines Elektrofahrzeugs, mit dem Erwerb des Autos auch eine Heimpladestation zu installieren oder die Errichtung einer öffentlichen Ladestation in der unmittelbaren Nähe zu erwirken. Letzteres ist natürlich abhängig von den Möglichkeiten der Stadt oder Kommune und nicht zuletzt von der Bereitschaft der Behörden. Das Laden an einer 230-V-Haushaltssteckdose sollte die Ausnahme bleiben.



**Bild 5.1:** Der Typ-2-Stecker (benannt nach der Standardisierung in IEC 62196-2) ist der Standard für Ladekabel in weiten Teilen Europas, u. a. in Deutschland und Österreich. Weltweit kann man bei der IEC 62196 jedoch nur schwer von einer »Norm« sprechen, zumal in Japan und in den USA eigene Steckertypen favorisiert werden. Foto: Gabi Schoblick/emotion.net

## 5.1 Querschnitte

Beim Laden von Elektrofahrzeugen wird in der Zukunft auch »Otto Normalverbraucher« mit ihm bisher unbekanntem Leiterquerschnitt konfrontiert werden. Der Fahrer eines Elektroautos wird sich also an erheblich dickere und schwerere Kabel gewöhnen müssen. Wie groß die Ladeströme sind, hängt vom verwendeten Lademodus ab (s. u.). Entsprechend müssen die Leiterquerschnitte gewählt werden.

In der DIN 57 100, Teil 430/VDE 0100 werden drei Gruppen für die Zuordnung von Leiterquerschnitten zu den höchst zulässigen Belastungen definiert:

Für die Dimensionierung eines Ladekabels ist die Gruppe 2 der DIN 57100, Teil 430 (VDE 0100) relevant. Es handelt sich hier um bewegliche Mehraderleitungen.

VDE 0100-Gruppe	Definition
Gruppe 1	Eine oder mehrere in einem Rohr verlegte einadrige Leitungen
Gruppe 2	Mehradrleitungen, z. B. Mantelleitungen, Rohrleitungen, etc. und <i>bewegliche Leitungen</i>
Gruppe 3	Einadrige, frei in der Luft verlegte Leitungen, wobei der Zwischenraum zwischen den Leitern mindestens deren Querschnitt entspricht.

Der Blick in die Tabelle zeigt, dass die für die Gleichstromladung empfohlenen Leiterdurchmesser von  $70 \text{ mm}^2$  schon sehr knapp bemessen sind, wenn tatsächlich Ladeströme von 200 A eingesetzt werden. Bereits der mit 200 A absicherbare Querschnitt von  $95 \text{ mm}^2$  (Kupferleiter) ist gemäß der Definition am Limit zu bewerten. Es stellt sich also die Frage nach der Handhabung, denn mit steigendem Ladestrom werden immer dickere Kabel erforderlich. Das Aufladen eines Elektroautos wird damit nicht nur für die Stromversorgungsnetze zur sportlichen Herausforderung. Nicht zuletzt stellen sehr schwere Ladekabel große mechanische Lasten für die Stecksysteme dar. Diese müssen allerdings absolut fest und sicher den Kontakt herstellen und beibehalten können. Sogenannte »Wackelkontakte« haben bei Ladeströmen von 200A/DC (geplanter Schnellladestandard) destruktive Konsequenzen.

Belastbarkeit und Absicherung verschiedener Leiterquerschnitte nach DIN 57100, Teil 430 (VDE 0100), Gruppe 2 – relevant für Ladekabel

Leiterquerschnitt in mm <sup>2</sup>	Schutzorgan in A (Cu)	Schutzorgan in A (Al)	Belastbarkeit in A (Cu)	Belastbarkeit in A (Al)
2,5	20	16	26	20
4	25	20	34	27
6	35	25	44	35
10	50	35	61	48
16	63	50	82	64
25	80	63	108	85
35	100	80	135	105
50	125	100	168	132
70	160	125	207	163
95	200	160	250	197
120	250	200	292	230

#### Querschnitte von Hochvoltkabeln in den Autos

Die Definitionen nach DIN 57100, Teil 430 betreffen nicht die innerhalb des Fahrzeugs verlegten Kabel.

Bei den im Fahrzeug fest verlegten Hochvoltkabeln müssen andere Maßstäbe angesetzt werden, da wesentlich härtere Bedingungen zu erfüllen sind. Entsprechend tolerant müssen sich die Kabel diesen Umständen anpassen können.

Für die Definition der maximalen Strombelastung ist die Temperatur ein entscheidender Faktor. In Elektroautos verwendete Hochvoltkabel sind mit Leiter- und Mantelisolationswerkstoffen versehen, die Leitertemperaturen von 180 °C aushalten müssen. Die verwendeten Kabel müssen also erheblich anspruchsvollen Anforderungen genügen. Mit der hohen Qualität der Kabel und deren Isolationsmaterialien ergibt sich allerdings gegenüber den Grenzwerten bei beweglichen Leitungen, wie sie die DIN 57 100, Teil 430/VDE 0100, Gruppe 2 beschreibt, erheblich mehr Spielraum:

Strombelastbarkeit von Leitern mit Querschnitten von 10–70 mm<sup>2</sup> bei verschiedenen Umgebungstemperaturen, wenn die Leitertemperatur 180 °C nicht überschreiten darf (relevant für Hochvoltkabel im Fahrzeug). Quelle: Coroplast Fritz Müller GmbH&Co. KG, Wuppertal

Leiterquerschnitt	20 °C	85 °C	105 °C	125 °C
10 mm <sup>2</sup>	154 A	121 A	108 A	92 A
16 mm <sup>2</sup>	206 A	162 A	144 A	123 A
20 mm <sup>2</sup>	232 A	182 A	163 A	139 A
25 mm <sup>2</sup>	274 A	216 A	192 A	164 A
30 mm <sup>2</sup>	300 A	236 A	210 A	180 A
35 mm <sup>2</sup>	343 A	270 A	241 A	206 A
40 mm <sup>2</sup>	378 A	298 A	266 A	227 A
50 mm <sup>2</sup>	432 A	340 A	304 A	260 A
70 mm <sup>2</sup>	538 A	425 A	380 A	325 A

## 5.2 Mantelstruktur und Werkstoffe

Bei Lade- und Hochvoltkabeln geht es nicht allein um die Kabelquerschnitte, die Ströme verlustfrei übertragen können. Wichtig sind auch die Isolierstoffe und die Abschirmung des Kabels, um EMV-Sicherheit zu gewährleisten. Sind die Isoliermaterialien zu hart, fehlt es an Flexibilität. Wie wichtig gerade das ist, wird deutlich, wenn man in einem Auto die Motorhaube öffnet. Man wird überrascht sein, wie wenig Platz für die Verlegung zur Verfügung steht. Das Platzproblem wird besonders bei den Leistungskabeln deutlich, mit denen die Batterie an das Ladegerät angebunden oder mit denen der Antriebsstrom von der Batterie zum Motor transportiert wird. Hier ist die Flexibilität durch die großen erforderlichen Leiterquerschnitte stark eingeschränkt. Eine saubere Verlegung der Kabel darf also nicht durch harte Isolationswerkstoffe unnötig erschwert werden.

Ein weicher Isolationswerkstoff ist natürlich auch für ein Ladekabel wichtig, denn ein flexibles Kabel erleichtert die Handhabung erheblich. Das gilt speziell dann, wenn verstärkt auch Hochleistungs-DC-Schnellladesysteme mit sehr großen Ladeströmen eingesetzt werden. Hier erfordern die Kabel Leiterquerschnitte von 2 x 70 mm<sup>2</sup> und Längen von z. B. 2–4 m. Dann sind starre Isolationsmaterialien absolut tabu.

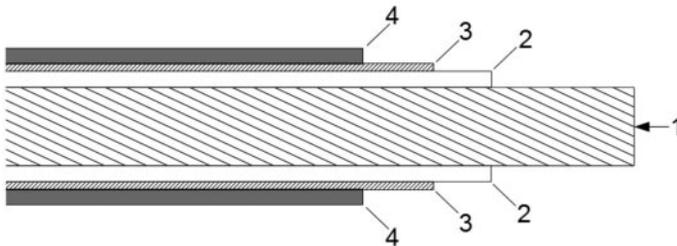
Im Zusammenhang mit einem Fahrzeug stellen auch die chemischen Betriebsumstände große Anforderungen an die Kabel. Selbst in reinen Elektroautos werden Hydrauliköle und Schmiermittel sowie Bremsflüssigkeiten verwendet, die das Isolationsmaterial angreifen können. Bei einem Hybridfahrzeug kommen zusätzlich Motorenöle und Kraftstoffe zum Einsatz. Nicht zuletzt sind Fahrzeuge z. B. im Winter chemischen

Belastungen durch Auftaumittel wie Salz und Laugen ausgesetzt, denen sie zuverlässig widerstehen müssen.

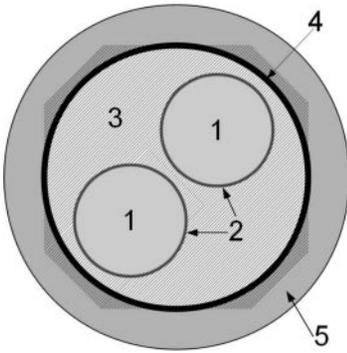
Der Unterschied zwischen einem Starthilfekabel und einem Kabel, wie es in einem Elektroauto zu verwenden ist, liegt in der Betriebsspannung. Natürlich fließen beim Starterkabel hohe Ströme, aber die Betriebsspannung beträgt lediglich 12 V. Standardkabel für den Einsatz in Elektroautos müssen dagegen heute mindestens für eine Spannung von 600 V ausgelegt sein. Künftige Systeme werden sogar mit Spannungen von 1.000 V arbeiten, der Grenze von der Niederspannung zur Mittelspannung. Das Isolationsmaterial hat also eine herausragende Bedeutung für die Sicherheit des gesamten Fahrzeugs.

Neben mechanischen Vibrationen und chemischen Belastungen sind für ein Kabel in einem Elektroauto auch klimatische Bedingungen eine Herausforderung. Im Winter ist das Material eisigen Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt ausgesetzt, während in den heißen Jahreszeiten sehr hohe Temperaturen herrschen können, die durch die elektrische Belastung eventuell zusätzlich steigen. Moderne Polyurethan-Werkstoffe (PUR) können die Anforderungen erfüllen, die Hochvoltkabel in Elektroautos stellen.

Jedes Elektroauto ist technisch hoch anspruchsvoll. Hier existieren Hochspannung, Starkstrom und große Energiedichten neben schwachen, teilweise sehr hochfrequenten Strömen und Ladungen und dürfen einander nicht beeinflussen. Man bedenke, dass in einem Elektroauto sehr große Ströme geschaltet werden. Allein die Erzeugung der Antriebsdrehströme stellt für die Umgebung ein wahres »EMV-Feuerwerk« dar, dem nur durch abgeschirmte Leitungen zu begegnen ist.



**Bild 5.2:** Struktur eines Einzelader-Hochvoltkabels: Den Kern bildet der Leiter mit ausreichend großem Querschnitt aus Kupfer oder Aluminium (1). Dieser ist mit einer eigenen Isolation ummantelt (2). Ein Drahtgeflecht (3) dient der Abschirmung störender elektromagnetischer Wellen und verhindert Beeinträchtigungen der Fahrzeugelektronik. Der äußere Mantel aus Polyurethan (4) bietet dem Kabel Schutz vor äußeren Einflüssen (Druck, Temperatur, chemische Substanzen). Der Mantel hat stets die Signalfarbe Orange.



**Bild 5.3:** Bei mehradrigen Hochvoltkabeln bestehen die einzelnen Adern aus einem mehrdrahtigen Kupfer- oder Aluminiumleiter (1) und sind einzeln isoliert (2). Die Adern werden innerhalb des Kabels von einer Füllschicht (3) umgeben, die Quetschungen der Adern bei engen Einbauradien verhindert und das Kabel in Form hält. Ein Drahtgeflecht (4) dient wieder der Abschirmung. Der Polyurethan-Mantel ist wie bei allen Hochvoltkabeln im Fahrzeug orange eingefärbt.

### 5.3 Sicherheit und Hochvoltkabel im Auto

Bei der Verlegung der Hochvoltkabel im Auto kommt es nicht allein darauf an, möglichst verlustfrei die Komponenten des Antriebsstrangs miteinander zu verbinden. Besonders wichtig ist, Sicherheit für Fahrzeuginsassen, Mechaniker und gegebenenfalls Rettungs- und Bergungskräfte zu gewährleisten.

Die Kabel unterscheiden sich deswegen bereits rein optisch von konventionellen Kabeln im Auto: Es werden Kabel mit orangefarbener Ummantelung verwendet, die sofort ins Auge fallen. Darüber hinaus sind die Steckverbindungen zusätzlich durch Verschraubung gesichert, damit sich kein Kabel unter Volllast infolge von Vibrationen lösen und durch einen Lichtbogen oder Wackelkontakt einen Kabelbrand verursachen kann.



**Bild 5.4:** Die Hochvoltkabel in einem Elektroauto sind mit einer grell orangefarbenen Ummantelung optisch dominant. Die Signalfarbe ist ein Warnsignal für den Mechaniker zur Vermeidung von Unfällen. Foto: Gabi Schoblick/e-motion.net



**Bild 5.5:** Die Anschlüsse der Hochvoltkabel, hier bei einem Tesla Roadster, sind nicht nur gesteckt, sondern zu deren Sicherheit auch noch verschraubt. Foto: Gabi Schoblick/e-motion.net

## 5.4 Ladekabel

Ladekabel sind bei einem Elektroauto gewissermaßen der Zapfhahn an der »Tankstelle«. Es gibt verschiedene Steckertypen. Der Grund ist zum einen, dass es international noch keine verbindlichen Standards gibt und diese auf absehbare Zeit auch nicht zu erwarten sind. Zum anderen gibt es noch nicht genug öffentliche Ladestationen. Noch ist Elektromobilität bei privaten Fahrzeughaltern nicht verbreitet, sodass in jedem Parkhaus und bei jedem Arbeitgeber ausreichende Lademöglichkeiten verfügbar wären. Zudem muss das öffentliche Stromversorgungsnetz den neuen Anforderungen gerecht werden. Das gilt insbesondere für Schnellladesysteme an Autobahnen, wo im großen Stil viele Fahrzeuge innerhalb weniger Minuten bis maximal eine halbe Stunde wieder die Fahrt fortsetzen sollen.



**Bild 5.6:** Das Ladekabel muss einfach zu handhaben sein, denn der Autofahrer will seine Fahrt fortsetzen und nicht das Laden »zelebrieren«. Die Kabel müssen deswegen so leicht und flexibel wie möglich sein. Foto: Gabi Schoblick/e-emotion.net

### 5.4.1 Anforderungen an das Ladekabel

Ohne Frage müssen Ladekabel die fließenden maximalen Ströme über die komplette Ladezeit aushalten, ohne dabei unzulässige Wärme zu entwickeln. Schon gar nicht darf die Isolation ihre physikalischen Eigenschaften verändern und aufweichen. Das Ladekabel muss aber auch eine Reihe pragmatischer Aufgaben erfüllen. Ein Beispiel ist der Unfallschutz. Damit ist der Schutz von Fußgängern gemeint, die zwischen dem parkenden Auto und der Ladesäule möglicherweise die Straße bei schlechten Sichtverhältnissen überqueren wollen und nicht mit dem umherliegenden Kabel rechnen.

Hersteller von Ladekabeln müssen hier vorausschauend denken und Stolperfallen bereits mit dem Design des Kabels umgehen. Das ist mit gewendelten Kabeln möglich. Natürlich versperren auch gewendelte Kabel dem Fußgänger den Weg, aber sie geben im Gegensatz zu starren Kabeln nach. Der Fußgänger bemerkt das Hindernis, bevor es zu einem Sturz oder einem Schaden am Kabel oder einer unter Spannung stehenden Steckvorrichtung kommt.

Vor allem müssen Menschen vor der Berührung Spannung führender Teile geschützt werden. Wenn Fahrzeug und Ladepunkt kommunizieren können, überprüft das System die Funktion von Fehlerstromschutzschaltung und Schutzleiter.

Mit der IEC 62186-2 gibt es zwar einen Standard für Ladesteckersysteme, sie bietet aber für den Einsatz insbesondere in den Lademodus 3 (s. u) mehrere Alternativen an. Hier lag der Gedanke, den jeweiligen nationalen Standards entgegenzukommen, näher, als ein weltweit einheitliches System durchzusetzen.

### Standards, die keine sind!

Es ist und bleibt auch im 21. Jahrhundert ein Trauerspiel: Normen können sich nur selten dort durchsetzen, wo sie tatsächlich sinnvoll sind. Die Idee, Elektroautos zu bauen, ist nicht neu. Sie wurde in den vergangenen Jahrzehnten ebenso oft aufgegriffen und ebenso oft bekämpft. Ingenieure und vor allem Anwender der Technologien ärgern sich immer wieder über fehlende globale Standards.

Kann man mit verschiedenen TV-Standards in Europa und den USA gut leben, forderte der Unterschied bei den ISDN-Standards (56 kBit/s in den USA und 64 kBit/s) schon einen gewissen Aufwand, um das Telefonieren über den »großen Teich« hinweg überhaupt möglich zu machen. Bei der Standardisierung von Ladesteckersystemen für Elektroautos wiederholt sich die Geschichte, und man muss kostenintensiv »improvisieren«, um verschiedene Autos in mannigfaltigen Ladeinfrastrukturen betreiben zu können. Entscheidend ist allerdings, dass eine verbindliche, weltweit einheitliche Standardisierung den Durchbruch der Elektromobilität fördern könnte.



**Bild 5.7:** Gewendelte Ladekabel sind ein aktiver Beitrag zum Unfallschutz für Passanten, die möglicherweise unachtsam neben einem ladenden Fahrzeug unterwegs sind. Wünschenswert wäre es aber, wenn die Politik in der Elektromobilität die sich bietenden Chancen und Potenziale vermehrt erkennen würde. Medienwirksames Posieren allein reicht nicht aus.

Foto: Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Kirchhundern

# 7 Unfallverhütung/Bergung von Elektroautos

## Wichtig!

Greifst du an die Spannung an, klingelt gleich der Sensenmann!

Einen laufenden Verbrennungsmotor kann man hören, was jeden Mechaniker davon abhalten wird, in rotierende Teile zu greifen. Bei einem stehenden Verbrennungsmotor ist die Hitze eines eben gelaufenen Motors das wesentliche Risiko bei Arbeiten am Fahrzeug. Kurzum: Mechanik ist greifbar und kalkulierbar. Strom ist jedoch etwas ganz anderes, denn Strom kann man weder sehen noch riechen. Und genau hier liegt die große Gefahr!

Kritisch ist elektrischer Strom aber nicht nur für den Mechaniker. Bei einem Unfall kommt es darauf an, Personen aus einem eventuell durch einen Unfall zerstörten Fahrzeug zu befreien, und dabei geht es oft um jede Sekunde. Schutz des Lebens dürfen aber nicht nur die Insassen für sich beanspruchen, sondern auch das Rettungs- und Bergungspersonal.

Nicht zuletzt ist die Umweltverträglichkeit ein wichtiger Faktor. Zum einen geht es um die Ökobilanz des Energieumsatzes. Ein weiterer Punkt ist, ob ein Elektroauto ökologisch verträglicher hergestellt wurde als ein konventionelles Fahrzeug. Hier gibt es durchaus kontroverse Diskussionen, obwohl sich die Ergebnisse in der Waage halten dürften. Auch die kontrollierte Entsorgung nach dem Ende der Nutzungszeit, die heutzutage weitgehend durch Recycling-Prozesse bestimmt wird, spielt eine Rolle. Hier werden nun die Folgen eines möglichen Unfalls betrachtet.

Bei einem Unfall wird das Fahrzeug möglicherweise in einem undefinierten Maß zerlegt. Hier gilt es grundsätzlich, den schlimmsten Fall anzunehmen. Beim Verbrennungsantrieb können Öl und Kraftstoff austreten und ins Erdreich und damit ins Grundwasser einsickern. Beim Elektrofahrzeug ist für die Rettungs- und Bergungskräfte unklar, ob die Batterie geplatzt ist und ob gefährliche Flüssigkeiten oder Gase austreten.

## 7.1 Fünf Sicherheitsregeln

Elektrofachkräfte lernen sie im ersten Semester ihrer Berufsausbildung: die fünf Sicherheitsregeln für Arbeiten an elektrischen Anlagen. Sie sind auch bei Arbeiten an einem Elektroauto oder bei Bergungs- und Rettungseinsätzen zu beachten.

### 7.1.1 Freischalten

Bei der Hausinstallation bedeutet freischalten, die Sicherung herauszuschrauben oder den Leitungsschutzschalter abzuschalten. Bei Starkstromsystemen werden die Lasttrenner gezogen. Auch beim Elektroauto ist das Freischalten der elektrischen Anlage der erste Schritt bei Arbeiten am Fahrzeug. Der Schlüssel ist abzuziehen oder der RFID-Transponder aus dem Empfangsbereich des Autos zu entfernen. Das Fahrzeug ist ausgeschaltet, wenn die *Ready*- oder *Go*-Anzeige erloschen ist. Doch Vorsicht! Diese Anzeige kann gestört sein und bietet keine Garantie. Zusätzlich verfügen einige Fahrzeuge über einen Wartungstrennschalter, mit dem das Hochvoltssystem des Fahrzeugs von der Batterie entkoppelt wird.

### 7.1.2 Gegen Wiedereinschalten sichern

Das Mindeste, was man unter »Sichern gegen Wiedereinschalten« versteht, ist das Anbringen einer Kennzeichnung mit der Aufschrift »Nicht schalten«. Das ist bei stationären Anlagen recht einfach möglich. Leitungsschutzschalter in fest installierten Anlagen können zudem mit einem Draht verriegelt oder mit Klebeband in Signalfarbe überklebt werden.

Beim Elektroauto muss vermieden werden, dass der Zündschlüssel eingesteckt und umgedreht wird. Komplizierter ist es bei drahtlosen RFID-Modulen. Allerdings reicht die Nähe des Transponders allein noch nicht aus, um das Fahrzeug zu aktivieren. Es muss eine Starttaste betätigt werden. All diese Schalter sind formal bei Arbeiten am Fahrzeug zu kennzeichnen und mit einem Warnhinweis zu versehen.

### 7.1.3 Spannungsfreiheit feststellen

Abschalten ist wichtig, doch ist das keine Garantie dafür, dass auch tatsächlich alle Spannung führenden Teile abgeschaltet sind. Durch Störungen können z. B. Teile des Fahrzeugs unter Spannung stehen. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Spannungsfreiheit messtechnisch zu überprüfen.

### 7.1.4 Erden und kurzschließen

Ist die Spannungsfreiheit festgestellt, werden die Teile der elektrischen Anlage kurzgeschlossen. Sollte versehentlich ein Schalter oder ein Relaiskontakt geschlossen werden, schalten die Schutzeinrichtungen beim Kurzschluss automatisch ab, bevor menschliches Leben oder Gesundheit gefährdet wird.

### 7.1.5 Unter Spannung stehende Teile abdecken

Bei einem Elektroauto wird grundsätzlich das gesamte System abgeschaltet, wenn Wartungsarbeiten durchgeführt werden. Dennoch ist es zur eigenen Sicherheit sinnvoll, alle leitenden Teile mit einer isolierenden Abdeckung gegen versehentliches Berühren zu sichern.

Zu dieser Sicherheitsregel gehört auch, sich selbst aktiv zu schützen. Für die Arbeit an regulär unter Spannung stehenden Teilen ist z. B. mit hoch isolierten Schutzhandschuhen sowie einem Helm, der einen Gesichtsschutz bietet, zu arbeiten. Das erscheint oft übertrieben und ist gewiss in den meisten Fällen nicht erforderlich. Im Fall einer Störung der Anlage können aber Spannungen an unerwarteten Kontaktstellen vorliegen und damit zum Risiko werden.

### **Gefährlicher Leichtsin**

Die fünf Sicherheitsregeln werden gern belächelt und ignoriert. Man schaltet bestenfalls aus oder meint, es genüge »aufzupassen«, während unter Spannung gearbeitet wird. Das kann fatale Folgen haben: Lebensgefährliche Stromschläge sind bei Berührungen eine akute Gefahr. Bei Starkstromanlagen besteht die Gefahr von Lichtbogenbildung, wenn Kontakte unter Last gelöst werden. Diese können schwere Verbrennungen und Verblendungen des Augenlichts zur Folge haben.

## **7.2 Den Fahrzeugtyp erkennen**

Wenn die Rettungskräfte vor Ort erscheinen, stellt sich künftig die Frage: Ist es ein Elektroauto? Muss mit Hochspannung und Starkstrom führenden Kabeln gerechnet werden? Bei einem unbeschädigten Auto scheint die Einstufung des Fahrzeugtyps einfach zu sein:

- Auspuff – Verbrennungsmotor unter der Haube
- Kein Auspuff – Elektroauto

Das ist zunächst faktisch richtig, doch wie erkennt man ein Hybridfahrzeug, das zwar mit kombinierten Antriebssträngen unterwegs ist, jedoch einen vollwertigen elektrischen Antriebsstrang inkl. Hochvoltbatterie und Starkstromleitungen besitzt?

### **Risiko Hybridfahrzeug**

Rein äußerlich ist ein Hybridfahrzeug nicht sofort als (auch) Elektrofahrzeug zu erkennen. Während ein reines Elektroauto keine Auspuffanlage besitzt und sich damit bereits rein optisch als Elektrofahrzeug »outet«, verfügt ein Hybridfahrzeug rein äußerlich nicht über eindeutige Erkennungsmerkmale.

Die schnelle Erkennung eines Hybridfahrzeugs ist nicht einfach. Nun könnte man ein weiteres oft verstecktes Merkmal untersuchen: die Ladesteckdose. Beim (Plug-in-) Hybridfahrzeug gibt es neben dem Tankdeckel einen weiteren Anschluss für das Ladekabel. Allerdings darf man sich nicht unbedingt darauf verlassen, ihn schnell zu finden. Beim Design des Fahrzeugs kommt es in erster Linie darauf an, das Interesse des

potenziellen Käufers zu wecken. Offenbar scheint eine verpflichtende offensive Kennzeichnung eines Elektroautos aus marketingtechnischer Sicht ungünstig zu sein.

Noch schwieriger wird es bei Mildhybrids, die über keinen externen Ladeanschluss verfügen. Hier ist z. B. der Toyota Prius zu nennen, der ab Werk allerdings durch den Markennamen als Hybridfahrzeug gekennzeichnet ist.

#### **Elektroantrieb hat ein positives Image**

100 % elektrisch steht als Slogan auf vielen Elektroautos. Wer aus Überzeugung rein elektrisch fährt, tut das meist voller Stolz. Doch bei Hybridfahrzeugen ist eine gewisse Zurückhaltung zu erkennen. Dabei ist auch der teilelektrische Antrieb ein positiver Schritt in die richtige Richtung. Jede gut sichtbare Kennzeichnung vermindert im schlimmsten Fall das Risiko für Rettungs- und Bergungskräfte.



**Bild 7.1:** Ein »Suchbild«! Das Emblem mit dem Schriftzug »Hybrid Synergy Drive« ist schlicht und etwas klein. Immerhin: Es gibt es einen äußeren Hinweis auf den im Auto neben dem Verbrennungsmotor vorhandenen Elektroantrieb.

### **7.3 Signalfarbe Orange**

Wer bei einem beliebigen Fahrzeug als Laie einen Blick unter die Motorhaube wirft, sieht sowohl bei einem Verbrennungsantrieb als auch bei einem Elektroauto in der Regel einen dicht bepackten Motorraum. Neben dem Antrieb findet man noch zahlreiche Nebenaggregate und vor allem auch oft eine Verkleidung. Ein Laie kann also nur selten erklären, was welche Komponente darstellt. Sanitäter, Polizisten und Feuerwehkräfte sind in ihren jeweiligen Fachgebieten kompetent, aber nicht grundsätzlich Experten bei den Neuerungen in der Fahrzeugtechnik.

Trotz dieser Einschränkungen gibt es bei jedem Elektroauto ein eindeutiges Erkennungsmerkmal: Die Hochvoltkabel sind in der leuchtenden Signalfarbe Orange ausgelegt. Das orangefarbene Kabel und seine verschraubten Steckverbindungen sind ein

klares Indiz dafür, dass es sich um ein elektrisch oder teilelektrisch angetriebenes Fahrzeug handelt. Wichtig ist auch, dass alle Kabel, die Spannungen in gefährlicher Höhe führen, nach diesem Kriterium optisch eindeutig hervorgehoben werden.



**Bild 7.2:** Ein Blick unter die Motorhaube des Prius-Hybrid macht das Fahrzeug deutlich als Elektroauto erkennbar, was dieser Wagen trotz des primären Verbrennungsantriebs im Sinne der Sicherheit bei Rettungs- und Bergungseinsätzen tatsächlich auch ist.

## 7.4 Gefahr, wenn es schnell gehen muss

Angenommener Fall: ein schwerer Unfall auf der Autobahn, bei dem das Fahrzeug schwer beschädigt und verformt wurde. Die Insassen sind eingeklemmt und die Türen nicht mehr zu öffnen, weil die Karosserie vollkommen verzogen ist. Die Feuerwehr versucht, den Ärzten und Sanitätern einen raschen Zugang zu den Eingeklemmten zu verschaffen und setzt Werkzeuge wie eine Trennscheibe, Schweißgeräte oder die hydraulische Bergungsschere ein. Hier müssen die Einsatzkräfte wissen, wo Spannung führende Leitungen verlaufen, um die Kabel nicht zu beschädigen oder Kurzschlüsse mit hohen elektrischen Leistungen zu verursachen.

Da sich Elektroautos und Hybridfahrzeuge in einer frühen Entwicklungsphase befinden, werden noch verschiedene konstruktive Konzepte erprobt. Es gibt keine einheitliche Führung von Kabeln, keine definierten Einbauorte für Motoren und vor allem keine verbindlichen Einbaupositionen für die Batterie. Gern wird die Batterie in der Mitte des Fahrzeugs untergebracht. Wegen des großen Gewichts der Batterie hat das Fahrzeug hier den optimalen Schwerpunkt. Obendrein ist die Batterie an dieser Position bei einem Unfall am besten geschützt. Traktionsbatterien werden aber auch im Kofferraum oder an der Position eines früheren Benzintanks installiert. Diese Vielfalt ist für Rettungs- und Bergungskräfte ein Albtraum. Deren Vertreter fordern eine Datenbank mit ausführlichen Rettungsdatenblättern.

In einem Elektroauto wird die Fahrzeugkarosserie wie in jedem anderen Fahrzeug auch das neutrale Bezugspotenzial haben. Metallische Teile des Fahrzeugs sind deswegen mit (in der Regel nicht farblich gekennzeichneten Kabeln) miteinander verbunden, um einen

gemeinsamen Potenzialausgleich herzustellen. Bei einem Unfalls können diese möglicherweise als störend eingestuft werden. Dennoch sollte der Griff zum großen Bolzenschneider vermieden werden, denn nach der Trennung eines solchen Kabels besteht das Risiko, das infolge der Beschädigung innerhalb der elektrischen Anlage Spannungen zwischen den nun getrennten Teilen anliegen und eine Gefahr für die Rettungskräfte sind.

#### Massekabel nicht trennen!

Das Trennen von Massekabeln, die Fahrzeugteile miteinander verbinden, sollte unbedingt unterbleiben, solange nicht mit absoluter Sicherheit ein Kurzschluss ausgeschlossen werden kann. Durch diesen können nach Unterbrechung des Potenzialausgleichs gefährliche Spannungen an den Fahrzeugteilen anliegen.



**Bild 7.3:** Deutlich zu erkennen sind die gelben Warnkennzeichen auf dem Motorblock des Elektroautos. Die markierten Abdeckungen dürfen auf keinem Fall von Laien entfernt werden. Die unter den Abdeckungen anliegenden Spannungen stellen eine Gefahr für das Leben dar! Foto: Gabi Schoblick/e-motion.net

## 7.5 Schutzausrüstung

Eine Wartung oder eine Reparatur sollte von einem geschulten Mechaniker vorgenommen werden. In der Fachwerkstatt darf man davon ausgehen, dass sowohl geeignete Werkzeuge als auch detaillierte Dokumentationen des Fahrzeugs vorliegen. Der Mechaniker weiß also, wo genau die Hochvoltkabel innerhalb der Karosserie verlaufen, wo sich die Batterie/Batteriemodule befinden, und vor allem, wie man die Batterie kontrolliert, gefahrlos vom Bordnetz trennt und spannungsfrei schaltet.

Bei einem Unfall ist es vollkommen anders. In der Regel werden die meisten Feuerwehrleute noch keine Erfahrung mit Elektroautos gesammelt haben. Es gibt noch viel zu

wenige, davon und entsprechend kaum ernsthafte Unfälle, an denen diese Fahrzeuge beteiligt sind.

Eine wichtige Frage, die sich jedem Feuerwehrmann stellt, der sich einem Elektroauto gegenüberstellt, ist die Frage nach dem Zustand der Batterie:

- Treten Chemikalien mit unbekanntem, möglicherweise ätzenden oder giftigen Eigenschaften aus?
- Besteht das Risiko einer Entzündung oder gar Explosion?
- Sind gefährliche Spannungen an freiliegenden leitenden Teilen zu erwarten? (Hier sind nicht allein die regulär leitenden Teile gemeint.)



**Bild 7.4:** Isolierhandschuhe schützen vor einem elektrischen Stromschlag. Bei einem Elektroauto können im Extremfall hohe Gleichspannungen von mehreren Hundert Volt anliegen. Derzeit liegen die Spannungen meist bei 400 V.

Isolation ist zunächst einmal die wichtigste Form, um sich bei einem Elektroauto nach Kollision vor unberechenbaren Gefahren zu schützen. Feste Gummistiefel schützen sowohl vor auslaufendem Elektrolyt als auch vor Stromschlägen. Diese Funktion erfüllen zusätzlich Isolationshandschuhe. Trotzdem ist natürlich stets Vorsicht geboten, denn scharfkantige Trümmerteile eines kollidierten Fahrzeugs können die Schutzkleidung beschädigen.

Wichtig bei einem Einsatz an einem ungesicherten havarierten Elektrofahrzeug ist der Helm, der nicht nur Schutz des Kopfs vor Verletzungen bieten muss, sondern auch über ein spezielles Visier verfügen sollte. Im Fall eines Lichtbogens bei einem plötzlichen Kurzschluss schützt das Visier vor Verbrennungen im Gesicht.

#### **Auf das Unerwartete vorbereitet sein**

Benzin kann man riechen, scharfe Kanten kann man sehen, doch elektrischer Strom ist stets tückisch: unsichtbar, geschmacks- und geruchlos. In der Regel zeigt sich die Gefahr elektrischen Stroms erst dann, wenn es zu spät ist. Bei Rettungs- und Bergungseinsätzen an einem Elektroauto geht Sicherheit vor. Eine übertriebene Ausrüstung gibt es also nicht!



**Bild 7.5:** Die Gefahr eines Lichtbogens ist grundsätzlich immer gegeben, wenn Anlagen mit großen elektrischen Leistungen arbeiten, auch wenn im Störfall die Batterie die Spannung vom Fahrzeug abschalten soll. Das Schutzvisier des Helms schützt vor Verbrennungen bei unerwarteter Lichtbogenbildung.

## 7.6 Brennende Elektroautos

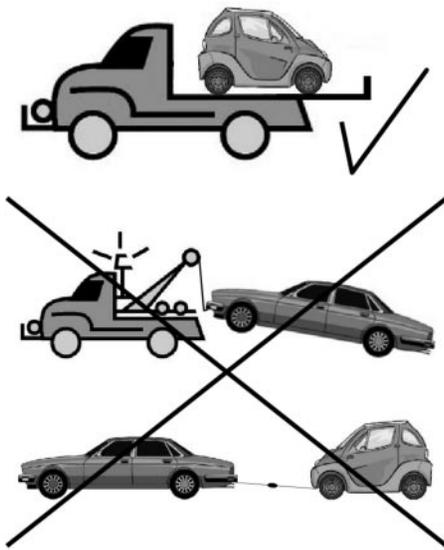
Bei einem Fahrzeugbrand ist die Batterie das kritische Element. Traktionsbatterien arbeiten auf der Basis des Alkalimetalls Lithium. Hier sei ein beliebtes Experiment aus dem Schulunterricht im Fach Chemie in Erinnerung gerufen: Ein extrem kleines Stück Natrium wird in ein Wasserbad geworfen. Es reagiert sofort und sehr stark. Ebenso sieht es bei Lithium aus. Ein brennendes Elektroauto darf deswegen nicht mit Wasser oder mit  $\text{CO}_2$  gelöscht werden, weil diese Stoffe mit Lithium reagieren. Auch wenn die Batterien sehr robust gebaut werden, kann eine Beschädigung nach einem Unfall oder im Brandfall nicht ausgeschlossen werden.

Ein weiteres Gefahrenpotenzial im Fall eines Brands können giftige Dämpfe sein. Hier ist entsprechende Schutzausrüstung erforderlich. Unfallopfer sollten rasch aus dem Gefahrenbereich gebracht werden. Verletzte sind umgehend in ein Krankenhaus einzuliefern und wenn nötig mit Sauerstoff zu beatmen.

## 7.7 Abschleppen eines Elektroautos

Einfach ist es, ein liegen gebliebenes, jedoch sonst unbeschädigtes Fahrzeug auf ein Plateau-Abschleppfahrzeug zu heben und zu transportieren. Stark abzuraten und bei einigen Typen strikt verboten ist das Abschleppen mit Seil oder Abschleppstange. Der Grund liegt in der Konzeption des Antriebsstrangs, bei dem die Räder meist nicht mehr vom Antrieb durch eine neutrale Getriebebeziehung voneinander entkoppelt werden. Beim Elektroauto treibt das rollende Fahrzeug die Welle des Elektromotors an und dieser wirkt nun als Generator und speist unkontrolliert Energie ins System ein.

Beim Halter des Fahrzeugs darf man davon ausgehen, dass er sich mit dem Bedienungshandbuch auseinandergesetzt hat und weiß, ob und wie er im Pannenfall sein Auto abschleppen kann. Rettungskräfte müssen diese Information vor Ort zunächst recherchieren.



**Bild 7.6:** Elektroautos dürfen nicht am Haken oder mit dem Seil oder der Abschleppstange abgeschleppt werden. Ausgenommen sind Fahrzeuge, bei denen der Hersteller das ausdrücklich gestattet. Hier sind dessen Hinweise jedoch bis ins Detail zu beachten.

Grundsätzlich ist in jedem Pannenfall zuerst der Schlüssel abzuziehen. RFID-Transponder, die mehr und mehr den klassischen »Zündschlüssel« ersetzen, sollten aus der unmittelbaren Umgebung des Fahrzeugs entfernt werden. Darüber hinaus ist der Wartungstrennschalter zu ziehen, doch gibt es keine einheitliche Regelung, wo er sich zu befinden hat. Bei einem Citroën C-Zero befindet er sich unter dem linken Vordersitz.

Achtsamkeit ist auch beim Einsatz von Abschlepp- und Hebewerkzeugen geboten. Beim Ansetzen des Ladekrans oder einer Seilwinde dürfen keine elektrischen Kabel oder Spannung führende Teile beschädigt werden. Insbesondere die Isolationen sind mechanisch nur schwach belastbar, und auch das Abschirmgeflecht unter dem orangefarbenen Mantel dient nicht als mechanischer Schutz. An der Isolationen beschädigte Kabel sind in jedem Fall von einer Fachwerkstatt austauschen zu lassen.

Wir danken den Autohäusern Aichseder und Eisner in Klagenfurt sowie Friessnegger in St.Veit/Glan in Österreich, die uns Fahrzeuge für Testfahrten zur Verfügung stellten. Besonderer Dank gilt auch dem Team des Projekts »LEBENSLAND« der Kärntner Landesregierung, speziell Dr. Albert Kreiner und Gerald Miklin, für die kompetente Unterstützung all unserer Arbeiten zur Elektromobilität.

# Stichwortverzeichnis

## Numerisch

230-V-Haushaltssteckdose 21

## A

Abblendlicht 81  
 Abgas 33  
 Abgasemission 24  
 Abgaswärme 36  
 Abschirmgeflecht 327  
 Abschirmung 268  
 Abschleppen 326  
 Abwärme 27, 36, 55, 85  
 ACK 273  
 Acknowledge 273  
 Adiabate 35  
 Airbag 279  
 Akkumulator 287  
 A-Klasse E-CELL 20  
 Aktives Cell-Balancing 281  
 Akzeptor 90  
 Alkalimetall 293  
 Alterung 283  
 Alterungsprozess 245  
 Alugussläufer 227  
 Aluminium 87, 92, 293, 296  
 Ampera 51  
 Ampere 185, 186  
 Amperestunde 284  
 Anfangsgeschwindigkeit 59  
 Anker 199  
 Ankerfeld 201  
 Ankergeometrie 204  
 Ankerlänge 206  
 Ankerleiterzahl 204  
 Ankerquerfeld 202  
 Ankerrückwirkung 201  
 Ankerspannung 209, 211  
 Ankerstrom 201, 206, 208  
 Ankervorwiderstand 209  
 Ankerwelle 199, 200  
 Ankerwicklung 199ff., 204, 206f., 209f., 213

Anlassdrossel 235  
 Anlassstrom 235  
 Anlasstransformator 235  
 Anlasswiderstand 227  
 Anlaufdrehmoment 210, 212, 242  
 Anlaufen 214  
 Anlaufmoment 228, 229, 230, 231, 232, 233  
 Anlaufphase 215, 230, 232, 235, 248  
 Anlaufschaltung 214, 225, 235  
 Anlaufstrom 214, 228, 232, 233, 234  
 Anlaufwiderstand 230  
 Anode 131  
 Anreicherungstyp 128  
 Ansaugphase 36  
 Ansaugtakt 30  
 Antennenleitung 253  
 Antriebsdrehzahl 220  
 Antriebsmotor 268, 277  
 Antriebsrad 28  
 Antriebsriemen 209  
 Antriebsstrang 30, 43, 243, 258  
 Antriebsstrom 256  
 Antriebswelle 245  
 Anwurfmotor 221  
 Arbeit 68, 70  
 Arbeitspunkt 95, 101, 103, 104  
 Arbeitspunkteinstellung 105  
 Arbeitspunktfestlegung 109  
 Arbeitspunktstabilisierung 111  
 Arbeitspunktstabilität 106  
 Arbeitstakt 31, 32  
 Arbitrierungsphase 270  
 arithmetischer Mittelwert 163  
 Astabile Kippschaltung 116  
 Astabile Kippstufe 116  
 Astabiler Multivibrator 115, 123  
 Asynchron-Anlauf 221

Asynchronmaschine 40, 226, 227, 228, 236, 238  
 Asynchronmotor 232  
 Augenblickswert 163  
 Ausdehnungskoeffizient 147  
 Ausgangsfrequenz 156  
 Ausgangssignal 103  
 Ausgangsimpedanz 103  
 Ausgangs-Kennlinienfeld 98  
 Ausgangsleitwert 100, 102  
 Ausgangswiderstand 100, 103  
 Ausgleichsgetriebe 78, 79  
 Auslassventil 33, 34  
 Auspuff 36, 87  
 Auspuffanlage 33  
 Ausschaltverzögerung 119  
 Außenleiter 234  
 Aussetzbetrieb 248  
 Ausstoßphase 36  
 Ausstoßtakt 33  
 Autogas 304

## B

B2 159  
 B2U 158  
 B6 160  
 B6C 163  
 B6U 159  
 Bahngeschwindigkeit 71  
 Bahnmotor 207  
 Basisschaltung 112  
 Basisspannung 108  
 Basis-Spannungsteiler 106  
 Basisstrom 100, 105  
 Basisvorspannung 108  
 Basis-Vorwiderstand 106  
 Batterie 44, 275, 287  
 Batterieantrieb 24  
 Batterieblock 276, 283  
 Batteriebrand 317  
 Batteriegehäuse 317, 318  
 Batteriegewicht 288, 316

- Batteriekapazität 280  
 Batterieladung 64  
 Batterielebenszyklus 287  
 Batteriemangement 278, 279, 283, 309  
 Batteriemasse 286, 316  
 Batteriemodul 324  
 Batteriespannung 266, 277  
 Batteriespeicher 48  
 Batteriewechsel 17  
 Batteriezelle 275, 307  
 Befestigungsflansch 252  
 Beharrungstemperatur 248  
 Belastungszeit 244  
 Benteler-Gruppe 16, 24  
 Benzin 28, 68, 301  
 Benzinmotor 30, 43  
 Bergungspersonal 319  
 Bergungsschere 323  
 Berührungssensor 111  
 Beschleunigung 27, 58, 59, 61, 67, 243  
 Beschleunigungsmoment 244  
 Betriebsfrequenz 207  
 Betriebsquadrant 168  
 Betriebsspannung 105, 257  
 Betriebstemperatur 249  
 Betriebszustand 283  
 BEWAG 49  
 Bewegungsenergie 22, 54, 69  
 Bewegungszustand 71  
 Bezugspotenzial 103, 271, 323  
 Bindungselektron 93  
 Biokraftstoff 305  
 Biomassereaktor 303  
 Bioreaktor 304  
 Bipolar-Transistor 126  
 Bistabile Kippschaltung 119  
 Bistabile Kippstufe 118  
 Bitstuffing 272  
 Bitübertragungsschicht 270  
 BLDC 224  
 Blei 291  
 Bleiakku 285  
 Bleifuß 83  
 Blei-Gel-Batterie 292  
 Bleioxid 291  
 Bleisulfat 292  
 Blindwiderstand 235, 238  
 Blitzschutz 140  
 Blockbetrieb 174  
 Bluetooth 14, 313  
 Bodenfremheit 313  
 Bogenmaß 71, 137  
 BOL 287  
 Boltzmann-Konstante 28  
 Bonding-Draht 147  
 Boostmotor 23  
 Bordcomputer 83, 269  
 Borddiagnose 269  
 Bordelektronik 89, 139  
 Bordnetz 279, 324  
 Brandfall 326  
 Braunkohle 49  
 Break Over Voltage 133  
 Bremsbetrieb 220, 248  
 Bremsen 58, 87, 165, 170  
 Bremsenergie 22, 87  
 Bremsflüssigkeit 256  
 Bremslicht 24  
 Bremswirkung 87  
 Brennkammer 28, 30, 31  
 Brennstoff 68  
 Brennstoffzelle 301, 302, 305  
 Brückengleichrichter 159  
 Brushless DC-Maschine 224  
 Buck Converter 153  
 Burgenland 49  
 Bürstenfeuer 200, 201, 224  
 Bürstenlose Gleichstrommaschine 198, 224  
 Bussystem 270  
**C**  
 Cadmium 288  
 CAN-Bus 144, 264, 269, 270, 280  
 CAN-Transceiver 270  
 CCCV-Verfahren 309  
 Cell-Balancing 280  
 C-Faktor 284  
 CHAdMo 264ff.  
 Charging Stop Signal 266  
 Chemische Energie 28, 300  
 Citroën C-Zero 20, 41, 57  
 CityEl 19  
 Clarence Zener 93  
 CNG 304  
 CO<sub>2</sub>-neutral 304  
 Cobalt 293  
 Comparator 125  
 Compoundmaschine 212  
 Compressed Natural Gas 304  
 Constant Current and Constant Voltage 309  
 Continental 222  
 Control 273  
 Controlled Area Network 269  
 Coulomb 284  
 Crash 317, 319  
 CRC 273  
 CW-Wert 63  
 C-Zero 20, 41, 57  
**D**  
 Dachgepäckträger 64  
 Dahlander, Robert 237  
 Dahlander-Schaltung 237  
 Dämpferkäfig 221  
 Dampfmaschine 72  
 Dämpfung 269  
 Darlington, Sidney 114  
 Darlington-Schaltung 111, 114  
 Datenleitung 264  
 Dauerbetrieb 247  
 Dauermagnet 181, 213, 223  
 Dauertemperatur 245  
 DC-Schnelladesystem 256  
 Defektelektron 127  
 DIAC 140, 162  
 Dielektrikum 126  
 Diesel 301  
 Dieselantrieb 50  
 Dieselfahrzeug 54  
 Dieselmotor 35, 43  
 Dieselöl 28, 35, 68  
 Differenzgeschwindigkeit 228  
 Differenzialgetriebe 43, 73, 78  
 Differenzial-Regler 176  
 Differenzieller Ausgangswiderstand 100  
 Differenzieller Eingangsleitwert 101  
 Differenzieller Eingangswiderstand 101  
 Differenzieller Spannungsverstärkung 101  
 Diffusionsprozess 93  
 Diffusionsspannung 104  
 Diffusionsstrom 92  
 Dimethylcarbonat 294  
 Dimmerschaltung 141, 162

- DIN 57100 254  
 Diode 93, 94, 156  
 Direkteinspritzdüse 30  
 Direkt-Methanol-Brennstoffzelle 303  
 Diskontinuierlicher Betrieb 155  
 DMFC 303  
 DOD 287  
 Dominanter Zustand 271  
 Donator 90  
 Doppelnutläufer 227  
 Doppelsattelläufer 228  
 Doppelschicht-Kondensator 300  
 Doppelschlussmaschine 212  
 Doppelstabläufer 231  
 Doppelstabnut 231  
 Doppelstern 237  
 Doppelsternschaltung 237  
 Dotierung 90, 92  
 Dotierungsstoff 90  
 Dotierungszone 134  
 Drahtgeflecht 257, 268  
 Drahtloses Ladeverfahren 310  
 Drahtwindung 185  
 Drain 127  
 D-Regler 177  
 Drehbewegung 70  
 Drehfeld 170, 217, 220ff., 226, 228, 230  
 Drehfeldänderung 241  
 Drehfeldfrequenz 221, 229  
 Drehfeldgeschwindigkeit 229  
 Drehfeldpol 222  
 Drehfeldrichtung 240  
 Drehmoment 30, 42, 61, 69, 72ff., 77f., 170, 203, 205f., 209ff., 222, 225ff., 232, 234  
 Drehmomentenkennlinie 237  
 Drehmomentkurve 239  
 Drehmomentschwankung 211  
 Drehrichtung 78, 196, 213, 219f., 240  
 Drehrichtungsumschaltung 241  
 Drehsinn 219  
 Drehstrom 159, 220, 224  
 Drehstromanschluss 263  
 Drehstrommotor 241  
 Drehstromnetz 221  
 Drehstrom-Synchronmaschine 216  
 Drehzahl 35, 71, 73, 75, 170, 174, 204, 209, 211, 218, 221f., 226, 228, 235, 237, 244  
 Drehzahländerung 229  
 Drehzahlausgleich 79  
 Drehzahlbereich 42  
 Drehzahldifferenz 229  
 Drehzahl-Drehmomentenkurve 237  
 Drehzahl-Last-Bereich 35  
 Drehzahlregelung 40, 239  
 Drehzahlsteuerung 238  
 Drehzahlübersetzung 74  
 Drehzahlveränderung 238  
 Dreieckschaltung 171, 227, 233f., 237  
 Dreieckssignal 125  
 Dreiphasenanschluss 263  
 Dreiphasen-Wechselstrom 159  
 Dreipuls-Gleichrichtung 159  
 Dreipuls-Mittelpunktschaltung 162  
 Dreirad 19  
 Drossel 154, 236  
 Drosselklappe 35  
 Druck 30, 35  
 Druckänderung 37  
 Dunkelschaltung 219  
 Durchbruchspannung 93, 94, 99, 140  
 Durchflutung 186, 311ff.  
 Durchgehen 209  
 Durchlassbereich 131  
 Durchlassrichtung 95, 97, 159, 161  
 Durchlassspannung 93  
 Durchlassverhalten 142  
 Durchlaufbetrieb 248  
 Durchschlagspannung 314  
 Duty Cycle 150  
**E**  
 E1 157, 163  
 EIU 164  
 E-Bike 13, 20  
 eCarTec 14  
 E-CELL 20  
 EEG 48  
 Effektivwert 163f.  
 Eigenbelüftet 245  
 Eigenfrequenz 314  
 Eigenleitfähigkeit 99  
 Eigensicherheit 289, 295  
 Einbaupositionen 323  
 Eindrahten 18  
 Einflussgröße 175  
 Eingangsimpedanz 103, 111, 113  
 Eingangskennlinienfeld 100  
 Eingangssignal 103, 107  
 Einlassventil 31, 35  
 Ein-Liter-Auto 51  
 Einphasen-Wechselstrom 207  
 Einpuls-Gleichrichtung 157  
 Einschaltdauer 244  
 Einschaltstrom 206, 232, 234, 268  
 Einschaltvorgang 118, 177  
 Einschaltzeit 135, 152  
 Einschaltzyklen 248  
 Einweg-Gleichrichtung 157  
 Eisen 182  
 Eisenbahn 275  
 Eisen-Chrom 298  
 Eisenkern 38, 238  
 Eisen-Titan 298  
 Eisenverluste 188  
 Elchtest 20  
 Elektrische Stromrichtung 183  
 Elektrisches Feld 93  
 Elektrochemische Spannungsreihe 288  
 Elektrofachkraft 53  
 Elektrofahrrad 13  
 Elektrolyse 304  
 Elektrolyt 275, 286, 292f., 325  
 Elektrolytkondensator 108  
 Elektrolytmembran 302  
 Elektromagnetische Verträglichkeit 137  
 Elektromagnetische Welle 268  
 Elektromobilität 36, 48  
 Elektromotor 37, 40, 42, 44  
 Elektromotorische Kraft 203, 205  
 Elektron 92, 99  
 Elektronensprung 93  
 Elektronenüberschuss 90  
 Elektro-Scooter 15  
 Elementarmagnet 187  
 Emissionsfrei 49  
 Emissionshandel 304

Emitter 96  
 Emitterschaltung 103  
 EMK 205  
 Empfangsquittung 273  
 EMV 137, 314  
 EMV-Sicherheit 90  
 End of Frame 273  
 Energie 28  
 Energie-Äquivalent 68  
 Energiebedarf 29  
 Energiebilanz 50f.  
 Energiedichte 35, 286, 288  
 Energieeinsatz 83  
 Energieerhaltungssatz 37, 69  
 Energieform 68f.  
 Energiegehalt 174  
 Energiehaushalt 81, 83  
 Energiekopplung 314  
 Energiemenge 284  
 Energierückgewinnung 52  
 Energieübertragung 42, 312  
 Energieumsatz 83, 319  
 Energieversorger 264  
 Energiewende 46, 48, 305  
 Entdrahtung 18  
 Entladekurve 294  
 Entladespannung 285  
 Entladestrom 284  
 Entladevorgang 163  
 Entladewiderstand 280  
 Entsorgung 319  
 Entstehungskosten 48  
 Entstördrossel 139  
 Entstörmaßnahme 268  
 Entstörschaltung 139  
 EOL 287  
 Erdbeschleunigung 66f.  
 Erdgas 49, 68f., 304  
 Erdöl 39, 68  
 Erhaltungsladung 285, 308  
 Erregerfeld 192, 203, 206, 211, 221  
 Erregerspannung 211, 223  
 Erregerwicklung 207f., 210, 224  
 Erschütterung 144  
 Erwärmung 147  
 E-Scooter 15, 20  
 Ethylencarbonat 294  
 EU-Fahrzeugklasse 24  
 Eulersche Zahl 117  
 Expansionsvolumen 30

**F**

Fahrrad 12, 275  
 Fahrgeschwindigkeit 73  
 Fahrrad-Riksha 15  
 Fahrtrichtung 70, 165  
 Fahrverbot 50  
 Fahrverhalten 82  
 Fahrzeugbeleuchtung 119  
 Fahrzeugbrand 275, 326  
 Fahrzeuggewicht 17, 83  
 Fahrzeugmechaniker 53  
 Fahrzeugsensoren 279  
 Fangdraht 18  
 Faraday, Michael 189  
 Faserverbundwerkstoff 317  
 Fehlermeldung 266  
 Fehlerstromschutzschaltung 260, 262  
 Feldeffekttransistor 130, 142  
 Feldlinie 183, 186  
 Feldlinienlänge 186  
 Feldschwähebereich 239  
 Feldschwächung 209, 213  
 Feldspule 220  
 Feldstärke 186, 190, 312  
 Feldsteller 213  
 Felgendurchmesser 62  
 Fernbahn 12  
 Fernbeheizung 85  
 Fernheizung 50  
 Fertigungstoleranz 277  
 Feste Kraftübertragung 209  
 Festgetriebe 44  
 Feststoff-Batterie 298  
 FET-Eingang 142  
 FI-Schutz 262  
 Fisker Karma 57  
 Fläche 64, 206, 313  
 Flip-Flop 115  
 Fluence Z.E. 20, 26, 41  
 Flurförderzeug 16  
 Formfaktor 164  
 Fossile Energie 40  
 Fossiler Energieträger 46  
 Freilaufdiode 151, 193  
 Freischalten 320  
 Freiwerdezeit 133  
 Fremd erregte Maschine 206  
 Fremdatom 92  
 Fremdbelüftete Maschine 247  
 Frequenz 90, 170, 236, 238, 312

Frequenzabhängigkeit 220

Frequenzregelung 221

Frequenzumrichter 238

Führungsgröße 175

Full-Hybrid 23

Funkenstrecke 140, 314

Fußkreisdurchmesser 75

Fuzzy-Regler 176

**G**

Galium-Arsenid 90

Gangschaltung 44

Gas-Dampfkraftwerk 46

Gaskonstante 28

Gaspedal 170

Gastemperatur 35

Gasturbine 46

Gasungsprozess 308

Gate 127

Gate-Turn-Off-Thyristor 134

Gedämpfte Schwingung 314

Gefälle 170

Gefällestrecke 52

Gefrierpunkt 257, 292

Gegen-elektromotorische Kraft 187, 203

Gegen-EM 165

Gegen-EMK 166, 187, 203, 205, 209

Gegeninduktion 187, 189, 224

Gegenkopplung 106

Gegenspannung 214

Gegenstrombetrieb 240f., 248

Gehäuseerdung 269

Gehobener Wirkungsgrad 40

Gelenkbus 17

Generator 40, 191, 203f., 211

Generatorbetrieb 23, 165, 168, 205, 220

Generatorphase 219

Generatorpolynom 273

Generator-Regel 191

Germanium 90

Geschwindigkeit 27, 58, 70

Geschwindigkeitsänderung 59

Geschwindigkeitsindex 62

Gesichtsschutz 321

Gesteuerte

  Gleichrichterschaltung 161

  Gesteuertes Ventil 156

  Getriebe 28, 30, 37, 42f., 73f.

- Getriebewirkungsgrad 44  
 Gewicht 288  
 Gewichtskraft 66, 72  
 Giftstoffe 288  
 Gitterstruktur 90, 92, 99  
 Glättung 154, 158, 160  
 Glättungskondensator 153, 163  
 Gleichrichter 90  
 Gleichrichterschaltung 94, 156  
 Gleichrichtung 156  
 Gleichrichtwert 163f.  
 Gleichspannung 163  
 Gleichspannungsverstärkung 109  
 Gleichstromausgangswiderstand 100  
 Gleichstrom-Hochsetzsteller 150  
 Gleichstromladestationen 264  
 Gleichstromladeverfahren 264  
 Gleichstromladung 254  
 Gleichstrommotor 199, 214  
 Gleichstromschnellladung 265  
 Gleichstromsteller 155  
 Gleichstromverstärkung 109  
 GM Volt 23, 34, 51  
 Graetz-Schaltung 158  
 Graphit 290, 293  
 Grenzfrequenz 108, 111f.  
 Grenzwert 313  
 Großkraftwerk 51  
 Grundfrequenz 174  
 Grundmobilität 26  
 Grundschiwingung 125  
 GTO-Thyristor 134f., 142, 150, 165  
 Gummistiefel 325  
 Gürtelreifen 62
- H**
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 291  
 Halbleiterschicht 94  
 Halbleiterventil 156f.  
 Halbwelle 158  
 Hall, Edwin 194  
 Hall-Effekt 194  
 Hall-Konstante 194  
 Hall-Sonde 224  
 Hall-Spannung 194  
 Haltespannung 131, 137, 140, 143
- Hangabtriebskraft 65ff.  
 hartmagnetisch 188  
 Hauptpol 200  
 Hauptschlussmaschine 207  
 Haushaltssteckdose 21, 267  
 Hebelarm 61  
 Heimladestation 253  
 Heißleiter 99  
 Heizung 30, 81  
 Hellschaltung 219  
 Helm 321  
 Hilfsphase 216, 242  
 Hilfssignal 125  
 Hochfrequenz-Verstärkerschaltung 112  
 Hochlaufzeit 244, 247  
 Hochleistungsbatterie 278  
 Hochleistungsgenerator 219  
 Hochsetzschaltung 163  
 Hochsetzsteller 150, 153, 169  
 Hochspannung 257  
 Hochstabnut 231  
 Höchstgeschwindigkeit 62  
 Hochstromladung 266  
 Hochstromleitung 253, 264, 266  
 Hochvoltkabel 144, 255ff., 324  
 Hochvoltsystem 318, 320  
 Höhenniveau 69  
 Homogenes magnetisches Feld 310  
 Hotspot 279  
 h-Parameter 102  
 Hub 36  
 Hubraum 28  
 Hybrid 22, 51  
 Hybridantrieb 16, 24  
 Hybrid-Fahrzeug 301  
 Hybrid-Sportwagen 57  
 Hydrauliköl 256  
 Hysterese 122, 176  
 Hystereseschleife 39  
 Hystereseverluste 37f.
- I**
- ICCB 263, 267  
 ICE 3 12  
 Ideales Gasgesetz 28  
 IE2 41  
 IE3 41  
 IEC 62196 254  
 IGBT 45, 111, 114, 150, 156, 165
- i-MiEV 20, 318  
 Impedanz 111  
 Impedanzwandler 109, 114  
 Impulsbreite 125  
 In Cable Control Box 263, 267  
 Individualverkehr 13  
 Induktion 190ff., 231  
 Induktionsschleife 16  
 Induktives Laden 310  
 Induktivität 150, 154, 168  
 Industrieabgas 304  
 Industriemotor 45  
 Inhomogenität 310  
 Innenraumbeheizung 81  
 Innenraumheizung 55  
 Innenwiderstand 113, 204, 275  
 Insulated Gate Bipolar Transistor 142  
 Integral-Regler 178  
 International Protection Code 249  
 Internationaler Stromhandel 46  
 Intrinsische Schicht 95  
 Invertierender Schmitt-Trigger 121
- J**
- Joule 68, 195  
 Joule, James Prescott 68  
 Junction-Temperature 126, 146
- K**
- Kabelbrand 144, 253, 258  
 Kabelmantelschirmung 268  
 Kabelquerschnitt 256  
 Käfigläufer 227f.  
 Kaliumhydroxid 296  
 Kaltstartphase 82  
 Kaltstartstrom 285  
 Kangoo Z.E. 20, 41  
 Kapazität 275  
 Kaplan-Turbine 219

Karma 57  
 Kathode 130  
 kcal 68  
 Kegelrad 79  
 Keilstabnut 231  
 Kelvin 106  
 Kennlinienfeld 99, 135  
 Kennzeichenbeleuchtung 81  
 Keramik 147  
 Kernenergie 47  
 Kernkraft 49, 85  
 Kernkraftwerk 39, 46, 182  
 Kilocalorie 69  
 Kinetische Energie 52, 68, 70  
 Kippmoment 222, 229, 233, 235, 237f.  
 Kippstufe 115  
 Kirchhoff'sches Gesetz 277  
 Klasse B 25  
 Klasse L6e 25  
 Klasse M 25f.  
 Klasse S 26  
 Klasse-B 26  
 Klauenpolläufer 217, 219  
 Kleinfahrzeug 41  
 Kleinkrafttrad 26  
 Kleinsignaltransistor 114  
 Klemmbrett 218  
 Klemmenbezeichnung 202  
 Klemmenspannung 169, 204f., 275, 285, 294, 306  
 Klimaanlage 29, 30, 37, 57, 81, 83  
 Klimaflüssigkeit 283  
 Klimaschutz 11  
 Klimatisierung 282f.  
 Kloß'sche Formel 229  
 Kloß'sche Gleichung 244  
 Knotengesetz 278  
 Koerzitivfeldstärke 181, 188  
 Koerzitiv-Feldstärke 38  
 KOH 296  
 Kohle 68  
 Kohlebürste 200, 201  
 Kohlendioxid 304  
 Kohlenstoff 290  
 Kohleschleifkontakt 18  
 Kolben 30, 31  
 Kollektor 96  
 Kollektorschaltung 111

Kollektorspannung 108  
 Kollektorstrom 97, 100, 108  
 Kommunikationsleitung 264  
 Kommunikationsschnittstelle 264  
 Kommutator 198, 200f.  
 Kompassnadel 183f.  
 Kompensationswicklung 202  
 Kompressionsverhältnis 35  
 Kompressionsvolumen 31  
 Kondensator 314  
 Konduktives Laden 310  
 Konstant-Spannungs-Ladung 307  
 Konstantstrom-Verfahren 308f.  
 Kontaktablösung 144  
 Kontaktschuh 18  
 Kopfkreisdurchmesser 75  
 Kopplungsgrad 314  
 Korrekturfaktor 246  
 Kraft 61, 68, 243  
 Kraftlinie 183  
 Kraftstoffverbrauch 36, 42, 55, 87  
 Kraftwerkswirkungsgrad 47  
 Kreisfrequenz 137  
 Kreisprozess 37  
 Kristallgitter 99  
 Kristallstruktur 92  
 Kühlmittel 36  
 Kühlmitteltemperatur 245f.  
 Kühlturm 48  
 Kühlung 126  
 Kunststoff 87  
 Kupferleiter 254  
 Kupferwiderstand 168  
 Kurbelwelle 28, 30  
 Kurvenfahrt 78  
 Kurzschluss 275, 324f.  
 Kurzschlussanker 227  
 Kurzschlussfall 156  
 Kurzschlussläufer 227  
 Kurzschluss-Stromverstärkung 102  
 Kurzschlusswicklung 221  
 Kurzschlussmessung 38  
 Kurzstreckenfahrt 146  
 Kurzzeitbetrieb 247f.  
 KUSA-Schaltung 242  
 kWh 68

## L

Lade-/Entladekurve 279  
 Ladedruck 35  
 Ladeenergie 281  
 Ladeinfrastruktur 267  
 Ladekabel 253, 259f., 262f., 267, 310, 321  
 Ladekran 327  
 Lademodus 254, 261  
 Lademodus 2 267  
 Ladephase 298, 309  
 Ladeprozess 313  
 Ladesäule 23, 310  
 Ladeschlussspannung 285, 307, 309  
 Ladeschutz 265  
 Ladespannung 278, 285, 292  
 Ladestation 56, 268, 309  
 Ladestationen 259  
 Ladesteckdose 267, 321  
 Ladestopp 83  
 Ladestrom 264, 267, 278, 285, 307, 309  
 Ladeverfahren 288, 306  
 Ladevorgang 267  
 Ladezeit 301  
 Ladezustand 84  
 Ladezyklus 163, 265, 283  
 Ladungsausgleich 279f.  
 Ladungsniveau 92  
 Ladungsträger 96, 99, 128  
 Ladungsungleichgewicht 92  
 Ladungsunterschied 280  
 Ladungsverschiebung 134, 194  
 Ladungswechselarbeit 36  
 Lagerreibung 43  
 Lagerschild 200  
 Langstreckenfahrt 21  
 Lastmoment 221, 244  
 Lastschwankung 211  
 Lastsituation 221  
 Laststrom 275  
 Lasttrenner 320  
 Lastwinkel 222  
 Latch-Up 143, 165  
 Läufer 199  
 Läuferdrehzahl 221, 229, 231, 240  
 Läuferfeld 222ff.  
 Läuferkäfig 227

- Läuferpol 220, 222  
 Läuferposition 222, 224  
 Läuferstromkreis 230  
 Läuferwicklung 227  
 Leaf 41  
 Lebensdauer 277, 284, 295  
 LED-System 81  
 Leergewicht 316  
 Leerlaufphase 82  
 Leistung 70, 72  
 Leistungsbereich 37  
 Leistungsdichte 90, 286, 296  
 Leistungselektronik 89  
 Leistungsendstufe 96  
 Leistungsklasse 40  
 Leistungs-MOSFET 144, 165  
 Leistungsspitze 286  
 Leistungstransistor 114  
 Leistungsventil 150  
 Leistungsverlust 55  
 Leistungsverstärkung 103  
 Leiterlänge 190, 195  
 Leiterquerschnitt 38, 231, 254, 256  
 Leitertemperatur 255  
 Leiterzahl 198  
 Leitfähigkeit 105  
 Leitungsschutzschalter 228, 232, 320  
 Leistungswiderstand 38  
 Lenz'sche Regel 192, 209, 228  
 Leo Graetz 158  
 LEONI AG 267  
 Lichtbogen 140, 267, 325  
 Lichtbogenbildung 201, 267, 321  
 Lichtenergie 55  
 LiCoO<sub>2</sub> 289, 293  
 LiMnO<sub>2</sub> 289  
 Linearbetrieb 90  
 LiNiO<sub>2</sub> 293  
 Linke-Hand-Regel 197  
 Linkslaufender Kreisprozess 37  
 Liquid Natural Gas 304  
 Liquid Propane Gas 304  
 Lithium 293, 326  
 Lithium-Cobalt-Oxid 293  
 Lithium-Eisenphosphat 294  
 Lithium-Feststoff 297  
 Lithium-Ionen-Batterie 285, 290  
 Lithium-Ionen-Zelle 277  
 Lithium-Luft 296  
 Lithium-Manganoxid 295  
 Lithium-Nickeloxid 293  
 Lithium-Reserven 297  
 LNG 304  
 Loch 92  
 Lötverbindung 147  
 LPG 304  
 Lückender Betrieb 155  
 Luftaustausch 57  
 Lüfter 206  
 Luftgüte 49  
 Luftkathode 296  
 Luftspalt 228, 310  
 Luftströmung 63  
 Lufttrafo 310  
 Luftwiderstand 29, 64, 68, 70  
 Luftwiderstandsbeiwert 65  
 Luftwiderstandskraft 65
- M**
- M2U 158  
 M3C 162  
 M3U 159  
 Magnetfeld 185, 190ff.  
 Magnetische Durchflutung 185f.  
 Magnetische Feldkonstante 188  
 Magnetische Feldstärke 38, 186, 188  
 Magnetische Flussdichte 38, 187f., 190, 194f., 203  
 Magnetische Induktion 187  
 Magnetische Leitfähigkeit 188  
 Magnetische Spannung 311  
 Magnetischer Fluss 186, 203f., 311f.  
 Magnetischer Pol 183  
 Magnetischer Widerstand 312  
 Magnetisches Feld 183, 186, 190, 192  
 Magnetisierung 188  
 MAN 24  
 Mangan 295  
 Mantelisolierung 255  
 Maschenregel 152, 155, 277  
 Maschinendrehzahl 226  
 Maschinenkonstante 204  
 Masse 61, 243  
 Massekabel 324  
 Massenträgheit 29, 243  
 Massenträgheitsmoment 221  
 Mechanische Arbeit 68f.  
 Mechatroniker 53  
 Meereshöhe 64  
 Mennekens Elektrotechnik GmbH & Co. KG 261  
 Mercedes 20  
 Metaloxid-Semiconductor Fieldeffect-Transistor 126  
 Methan 303f.  
 Methanol 301  
 Micro-Car 24f.  
 Micro-Hybrid 22  
 Mild-Hybrid 22, 322  
 Mitsubishi 20  
 Mitsubishi i-MiEV 20, 318  
 Mittellast 48  
 Mittelpunktleiter 159, 234  
 Mittelpunktschaltung 159  
 Mittelspannung 257  
 Mittenanzapfung 158  
 Mittlere Geschwindigkeit 59, 69  
 Modul 75  
 Modus 2 263, 267  
 Modus 3 263, 268  
 Modus 4 264  
 Mol 28  
 Monitoring 279  
 Monostabile Kippstufe 119  
 MOSFET 111, 126, 128  
 Motor 40, 203, 205  
 Motorbelastung 35  
 Motorbetrieb 166, 205, 218, 240  
 Motordrehzahl 37, 77, 89, 229, 235, 239  
 Motorenöl 256  
 Motorgeräusch 86  
 Motorleistung 27  
 Motormoment 244  
 Motorregel 199  
 Motorschutzschalter 228  
 Motorverluste 28  
 Motorwelle 200, 243  
 Motorwicklung 38  
 Motorwirkungsgrad 37  
 Müllentsorgungsfahrzeug 16, 24  
 MV-Störquelle 125
- N**
- Natrium-Nickelchlorid 299

- Navigationssystem 83  
 NCAP 318  
 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 181  
 Nebenschlussmaschine 210f.  
 Nebenschlussmotor 211  
 NEDC 82  
 NEFZ 51, 82  
 Negative Beschleunigung 58  
 Negative Temperature  
   Coefficient 99  
 Nenndrehzahl 214, 221, 232,  
   238, 244  
 Nennkapazität 284  
 Nennleistung 216, 244, 248  
 Nennleistungsbereich 40  
 Nennmoment 239  
 Nennspannung 285  
 Nennstrom 225, 228  
 Neodym 213, 223  
 Neodym-Eisen-Bor 181, 213  
 Neodym-Eisen-Bor-Magnet 223  
 Netzfrequenz 12, 207, 217, 229  
 Neuer Europäischer Fahrzyklus  
   82  
 Neutralleiter 159, 234  
 New European Driving Cycle 82  
 Newton 68  
 Newtonmeter 195  
 Niederspannung 257  
 Niedervoltbereich 253  
 Nissan Leaf 41  
 n-M-Kennlinie 230  
 Nockenwelle 31  
 Non Return to Zero 272  
 Normalkraft 64  
 Normalpotenzial 290  
 Normsteckverbinder 263  
 Notaus 279  
 Notbremsung 166  
 NPN-Transistor 97  
 NRZ-Code 272  
 NTC 99  
 Nullkippspannung 131, 133  
 Nutzfahrzeug 16
- O**
- ÖAMTC 20  
 Oberer Totpunkt 32, 36  
 Oberleitungsbus 17, 24, 275  
 Oberwelle 89, 137  
 Oberwellenanteil 174
- O-Bus 17  
 Oerstedt 186  
 Oerstedt, Hans-Christian 186  
 Öffnerkontakt 167  
 Ohm'sches Gesetz 105  
 Ökobilanz 302, 319  
 Öl 46  
 Öl-Plattform 39  
 Ölwechsel 87  
 Opel Ampera 23, 34, 51  
 Operationsverstärker 177  
 OSI-Schicht 270  
 OSI-Schichtenmodell 271  
 Oszillatorschaltung 112  
 Otto 30  
 Otto, Nicolaus August 30  
 Ottokraftstoff 301  
 Ottomotor 30, 35f., 43
- P**
- P+R-Parkplatz 16  
 Parasitärer Transistor 143  
 Park&Ride 13  
 Pedelec 13  
 Pelton-Turbine 219  
 Periodendauer 150  
 Periodensystem 293  
 Permanent erregte Maschine  
   213  
 Permanentmagnet 181, 190, 213  
 Permeabilität 188  
 Peugeot iOn 20  
 Pferdestärke 27, 72  
 Phasenanschnittschaltung 134,  
   162  
 Phasenanschnittsteuerung 137  
 Phasenlage 219  
 Phasenschiebernetzwerk 141  
 Phasenspannung 234  
 Phasenwinkel 137, 173, 222  
 Phoenix Contact 264  
 Phosphor 92  
 Photovoltaik 94  
 Photovoltaik-Anlage 21, 50, 85,  
   292, 298, 304  
 Photovoltaik-Zelle 50, 56  
 Physikalische Ebene 270  
 PID-Regler 179  
 PIN-Diode 95  
 PI-Regler 179  
 Plasmastrecke 140
- Plateau-Abschleppfahrzeug 326  
 Plugin-Hybrid 51f., 275  
 PN-Übergang 92f., 95  
 Polaritätssumkehr 200  
 Polaritätswechsel 220  
 Polfläche 203  
 Polgeometrie 204  
 Polpaar 204, 218, 229  
 Polpaarzahl 206, 222, 237  
 Polradwinkel 222  
 Polteilung 205, 206  
 Polumschaltung 171, 236ff.  
 Polwechsel 199  
 Polyurethan-Werkstoffe 257  
 Porsche 21  
 Positionsluchte 81  
 Potenzialausgleich 324  
 Potenzielle Energie 69f.  
 Power Bipolar Junction  
   Transistor 125  
 Power BJT 125  
 P-Regler 176  
 Premium-Wirkungsgrad 40  
 Primärenergie 45, 50, 68  
 Primärzelle 275, 287  
 Prius 22, 51f.  
 Prius-Hybrid 22  
 Prius-Hybrid Plugin 23  
 Propan 304  
 Proportionalitätsfaktor 176  
 Proportionalregler 176  
 Propylencarbonat 294  
 Proton 91  
 Pulscodemodulation 174  
 Pulsierende Gleichspannung  
   163  
 Pulsladung 308  
 Puls-Pausen-Verhältnis 116,  
   125  
 Pulsweitenmodulation 125,  
   169f.  
 Pumpspeicherkraftwerk 305  
 PUR 257  
 pV-Diagramm 34f.  
 PWM 125, 166, 169  
 PWM-gesteuert 168  
 PWM-Signal 150, 174
- Q**
- Quad 20  
 Quadrant 99, 168

Quadratischer Mittelwert 163  
 Quellenspannung 205  
 Quellenspannung 306

## R

Raddurchmesser 62f.  
 Radialreifen 62  
 Radnabenmotor 14, 73, 79  
 Radwelle 243  
 Range-Extender 34  
 Raumladungszone 92f., 96  
 Raumtemperatur 92  
 Raumzeiger-Modulation 173  
 RC-Reihenschaltung 117  
 Reaktionsgas 302  
 Rechte-Hand-Regel 191  
 rechtslaufender Kreisprozess 37  
 Recycling 319  
 Redox-Flow 298  
 Redox-Flow-Batterie 305  
 Reduktionsgetriebe 37, 48, 73, 77, 221  
 Reflexladung 308  
 Regelabweichung 175  
 Regelgröße 175  
 Regelkreise 174  
 Regelstrecke 175  
 Regelungstechnik 174  
 Regelzeit 178  
 Regenerative Energie 45, 47  
 Regenerative Energiequelle 85  
 Regler 175  
 Reibung 28, 36, 70  
 Reibungskraft 68  
 Reibungsverlust 63, 74  
 Reibungswiderstand 65  
 Reibungszahl 64  
 Reichweite 21, 27, 57, 81ff., 87, 275, 286, 293  
 Reichweitenkalkulation 83  
 Reichweitenverlängerung 301  
 Reifen 62  
 Reifendruck 62, 82  
 Reifenhöhe 62  
 Reihenschaltung 276  
 Reihenschlussmaschine 207f., 214  
 Reihenschlussmotor 199  
 Reihenschlusschaltung 227  
 Reihenschlussverhalten 209  
 Rekombination 93

Rekuperation 22, 52, 168, 286  
 Relativbewegung 79  
 Relative Einschaltdauer 244  
 Remanenz 38, 181, 188  
 Remote Request 273  
 Remote Transmission Request 273  
 Renault 20  
 Renault Fluence Z.E. 26  
 Renault Twizy 41  
 Renault Zoe Z. E. 318  
 Resonanz 314  
 Resonanzfrequenz 314  
 Restmagnetismus 38, 188, 211  
 Restreichweitenkalkulation 83f.  
 Restvolumen 36  
 Rettungspersonal 319  
 Rezessiver Signalzustand 272  
 RFID-Transponder 313, 320, 327  
 Richtlinie 2005/32/EG 40  
 Richtlinie 2007/46/EG 24  
 Riemenantrieb 81  
 Rohöl 69  
 Rollenkontakt 18  
 Rollgeräusch 86  
 Rollreibungsverlust 29  
 Rotationsenergie 70  
 Rotationsleistung 70, 72, 74  
 Rotor 199f.  
 RTR 273  
 Rückkopplungswiderstand 107, 109  
 Rücklaufgrad 78  
 Rücklicht 81  
 Rückstromladung 308  
 Rückwärtsgang 73, 78  
 Rückwärtsrichtung 168  
 Rückwirkung 101  
 RUF Automobile 21  
 Ruheenergie 69  
 Rundstabläufer 228f., 232  
 Rundstabnut 231  
 Rußabgabe 50

## S

SAE 270  
 Sägezahnsignal 125  
 Sattelläufer 228  
 Sättigungszustand 279  
 Sauerstoff 296

Säuredichte 292  
 S-Bahn 12  
 Schall 86  
 Schaltfrequenz 135  
 Schaltgetriebe 42, 73, 77, 87  
 Schaltverlust 135  
 Schenkelpolläufer 217  
 Schieben 165  
 Schiefe Ebene 170  
 Schleifkontakt 198, 201, 223, 230, 234  
 Schleifring 199, 201, 227  
 Schleifringläufer 227  
 Schlupf 226, 229, 237f.  
 Schlupfänderung 236  
 Schlupfdrehzahl 226  
 Schmiermittel 256  
 Schmitt-Trigger 115, 120, 176  
 Schnecke 78  
 Schneckengetriebe 78  
 Schnelladestation 284  
 Schnelladesystem 17, 259  
 Schnellladung 298  
 Schraubengang 78  
 Schraubenregel 183f., 196  
 Schubtrieb 22, 52, 54, 220  
 Schuko-Stecker 267  
 Schutzdiode 128  
 Schutzeinrichtung 320  
 Schutzhandschuh 321  
 Schutzkleinspannung 89  
 Schutzkontaktstecker 262, 264  
 Schutzleiter 260  
 Schutzleiterstatus 267  
 Schützenschaltung 240  
 Schwachstromleitung 253  
 Schwefelsäure 291, 299  
 Schweißstrom 135  
 Schwellenspannung 93, 120, 127  
 Schwellertschalter 115, 120  
 Schwerpunkt 318, 323  
 Schwingkreis 314  
 Schwingungsgleichung 314  
 Scooter 24  
 Segway 216  
 Seilwind 327  
 Sekundärzelle 287  
 Selbstentladung 285, 295, 300, 308f.  
 Selbstinduktion 150, 193, 195  
 Selbstleitend 127

- Selbstsperrend 127  
 Seltene Erden 39, 182  
 Separator 291  
 Sicherheit 318, 325  
 Sicherheitsregel 321  
 Sicherheitsregeln 319  
 Siemens & Halske 17  
 Signalfarbe 322  
 Signalfarbe Orange 257  
 Signalflanke 90  
 Signalfrequenz 107  
 Signalleitung 266, 271  
 Signalleitungen 271  
 Signalpegel 105  
 Signalquelle 109  
 Signalstromleitung 268  
 Signalverzerrung 103  
 Silizium 50, 56, 90, 293  
 Siliziumcarbid 90  
 Silizium-Diode 93  
 Siliziumdioxid 126  
 Silizium-Luft 297  
 Sintern 147  
 Sinushalbwellen 163  
 Sinussignal 125  
 Sitzheizung 30  
 Skineffekt 38, 189, 230f.  
 Smart Grid 268  
 Smart-Grid 148, 265, 269  
 SOC 288  
 Society of Automotive Engineers 270  
 SOF 288  
 SOF-Bit 272  
 SOH 288  
 Solaranlage 50  
 Solar-Carport 47, 85  
 Solardach 57  
 Solar-Ralley 19  
 Sollwert 174, 175  
 Sonnenkraft 85  
 Source 127  
 Spannung 190  
 Spannungsfestigkeit 95  
 Spannungsgrenze 307  
 Spannungs-Raumzeiger-Modulation 173  
 Spannungsrückkopplung 108  
 Spannungsrückwirkung 102  
 Spannungsstabilisierung 93  
 Spannungsteiler 106, 109, 154  
 Spannungsumkehr 171  
 Spannungsverlauf 294  
 Spannungsverstärkung 103, 111ff.  
 Sperrichtung 93, 115  
 Sperrschichttemperatur 126, 146  
 Sperrschichttransistor 126  
 Spieldauer 244  
 Spitzenlast 48  
 Spitzenlastabdeckung 148  
 Spitzenlastenergie 305  
 Spitzenlastzyklus 248  
 Spitze-Spitze 173  
 Spoiler 64  
 Spritverbrauch 81  
 Spule 185, 187, 190, 197, 314  
 Spulenlänge 186  
 Spurwechsel 18  
 SRR 273  
 Stahl 87  
 Ständer 199  
 Ständerdrehfeld 228  
 Ständerfrequenz 239  
 Ständerpol 220, 222  
 Ständerspannung 237  
 Ständerwicklung 168, 218, 220, 224, 233ff., 238  
 Standzeit 283, 309  
 Starkstrom 257  
 Starkstromleitung 268  
 Start of Frame 272  
 Starterbatterie 284, 291  
 Starthilfekabel 257  
 Start-Stopp-Automatik 22  
 Start-Stopp-Zyklus 53  
 Statisches Magnetfeld 196  
 Stator 199f., 208  
 Statorfeld 201  
 Statorwicklung 206  
 Stecker 267  
 Steckeranschluss 267  
 Steckertyp 259  
 Steckverbindung 258  
 Steckverbindungen 322  
 Steigung 52, 66, 170  
 Steigungsfahrt 247  
 Steigungswinkel 66  
 Steinkohle 49, 69  
 Steinmetz-Schaltung 242  
 Stellglied 175  
 Step Down-Converter 153  
 Stern/Dreieck-Schaltung 225  
 Sternpunkt 234  
 Sternschaltung 159, 171, 227  
 Steuerfeld 273  
 Steuerimpuls 135  
 Steuerkette 31  
 Steuersignal 125, 166  
 Steuerungselektronik 279  
 Stillstandszeit 244, 248  
 Stirnfläche 64f.  
 Stolperfalle 260  
 Stolpergefahr 310  
 Stop-and-go-Fahrzyklus 23  
 Stop-and-go-Verkehr 22  
 Störgröße 176  
 Störungsquelle 89  
 Straßenbahn 12  
 Straßenbelag 64  
 Straßenreinigungsfahrzeug 17  
 Straßentopologie 27  
 Streufeld 231  
 Stromabnehmer 18  
 Stromabnehmerstange 18  
 Stromaufnahme 229, 231f., 235  
 Strom-Bank 51  
 Strombedarf 49  
 Stromdichte 230  
 Stromgegenkopplung 107  
 Stromhandel 46  
 Stromkurve 309  
 Strommix 27, 50, 85  
 Strommixkarte 49  
 Stromrichterschaltung 135  
 Stromrichtung 185, 197, 199  
 Stromschlag 325  
 Stromschlaggefahr 317  
 Strömungsverlauf 64  
 Strömungswiderstand 35, 64  
 Stromverdrängungsläufer 227, 231f.  
 Stromversorgungsnetz 45, 254, 259  
 Stromverstärkung 112, 115  
 Stromverstärkungsfaktor 112  
 Stromverstärkungskennlinie 100  
 Stromwender 198, 199  
 Substrat 128  
 Sulfatieren 292  
 Super-Cap 284, 300f.

Synchronbit 272  
 Synchrondrehzahl 229, 238, 240  
 Synchronfrequenz 218  
 Synchrongenerator 216  
 Synchronisation 219  
 Synchronmaschine 219  
 Synchronmotor 220ff.

## T

Tageszyklus 298  
 Tail-Strom 135  
 Tankerunglück 39  
 Tankstelle 259  
 Tankstelleninfrastruktur 301  
 Tankvorgang 83  
 Tante Paula 16  
 Tastverhältnis 168f.  
 Technische Stromrichtung 183  
 Teilkreisdurchmessers 75  
 Teilung 75  
 Tellerrad 79  
 Temperatur 30, 35, 55, 99, 279, 286  
 Temperaturänderung 105  
 Temperaturdifferenz 87  
 Temperaturgrenze 282  
 Temperaturregulierung 44  
 Temperaturschwankung 145  
 Temperatursensor 280  
 Tesla 21, 181, 187  
 Tesla, Nicola 181, 314  
 Tesla-Roadster 22  
 Tesla-Spule 315  
 Tesla-Transformator 314  
 Thermische Dämmung 283  
 Thermische Wechsellast 89, 125  
 Thermische Zerstörung 93  
 Thermischer Hotspot 147  
 Thomsonsche Schwingungsgleichung 314  
 Thorium 182  
 Threshold Voltage 127  
 Thyristor 130, 156, 165  
 Tiefentladebereich 279  
 Tiefentladung 278, 284f., 309  
 Tiefpasschaltung 157, 160  
 Tiefsetzschaltung 163  
 Tiefsetzschaltungen 163  
 Tiefsetzsteller 153f., 168  
 Toleranz 277  
 Toyota 52

Toyota Prius 51  
 Trafoblech 188, 200, 208, 218  
 Tragfähigkeitsindex 62  
 Trägheit 60  
 Trägheitsmoment 71, 221, 243f.  
 Traktionsbatterie 275  
 Traktionsmotor 99, 247  
 Transformator 76, 190, 310  
 Transistor 150, 156  
 Transponder 320, 327  
 Treibhausgas 303f.  
 Treibstoff-Luft-Gemisch 28, 30  
 Treppenlichtschalter 119  
 TRIAC 137, 162  
 Triode 135  
 Tropfenstabnut 231  
 Turbolader 35  
 Turboläufer 217  
 Twizy 20, 41  
 Typ-2-Stecker 253f., 263f., 267

## U

U-Bahn 12  
 Übergangswiderstand 144  
 Überhitzung 57  
 Überkopfzündung 141, 150  
 Überladung 278, 284  
 Überlastung 275  
 Übersetzungsverhältnis 75f., 78, 243  
 Überstromschutzorgan 214  
 Übersynchroner Betrieb 240  
 Übertragungsfunktion 176  
 Übertragungsnetz 46  
 Übertragungsrate 270  
 Umbau-Fahrzeug 42  
 Umfangsgeschwindigkeit 71  
 Umgebungstemperatur 64, 145f.  
 Umlaufschaltung 219  
 Ummagnetisierungsverluste 38  
 Umrechnungsfaktor 68  
 Umrüstung 43  
 Umweltauflage 50  
 Umweltbelastung 85  
 Umweltbundesamt 46, 49  
 Umweltkatastrophe 39  
 Umweltverträglichkeit 296, 319  
 Umweltzone 25, 50  
 Unfall 275, 319  
 Unfallschutz 253, 260  
 Universalmotor 207f.

Universelle Gaskonstanten 28  
 Unterer Totpunkt 33, 35f.  
 Untersetzung 78  
 Untersetzungsgetriebe 89  
 Uran 39, 85, 182

## V

Vanadium-Redox-Flow-Batterie 299  
 Vandalismus 253  
 VDE 0100 254  
 Ventil 33, 156  
 Verarmungs-MOSFET 128  
 Verbrennung 35  
 Verbrennungsantrieb 77, 316  
 Verbrennungsmotor 28, 30, 33f., 37, 85, 304  
 Verbrennungsprodukt 28  
 Verbundmaschine 212  
 Verdichtung 31  
 Verdichtungsverhältnis 36  
 Verdrängungseffekt 189, 231  
 Vergaser 30  
 Verkehrskonzept 13  
 Verlustenergie 36  
 Verlustleistung 99, 126, 133, 145f.  
 Verordnung (EG) Nr. 640/2009 41  
 Verordnung 640/2009 40  
 Verschraubung 144, 258  
 Verstärkerschaltung 95f., 104  
 Verstärkung 107  
 Verteilnetz 46  
 Verwirbelungen 36  
 Verzahnungsmaß 75  
 Vibration 144  
 Vierpol 102  
 Vierpol-Hybridparameter 101  
 Vierquadrantenbetrieb 53  
 Vierquadrantensteller 165f., 168  
 Vollladezyklus 288  
 Vollpolläufer 217, 219f.  
 Volt 51  
 Voltsekunde 186, 204  
 Volumen 30, 35  
 Volumenänderungen 37  
 Vorwärtsrichtung 168  
 Vorwärtssperrenspannung 142  
 Vorwiderstand 104

**W**

Wackelkontakt 254, 258  
 Wagonette 17  
 Wälzkreisdurchmesser 75  
 Wärme 28  
 Wärmeaustausch 56  
 Wärmeenergie 70  
 Wärmekapazität 36  
 Wärmeklasse 245, 247  
 Wärmeleitfähigkeit 145  
 Wärmepumpe 37  
 Wärmestau 126  
 Wärmeübergangswiderstand  
 146  
 Wärmeverlust 44  
 Wartungsarbeit 320  
 Wartungsaufwand 36  
 Wartungstrennschalter 320, 327  
 Wasserkraftwerk 49, 219  
 Wassermantelkühlung 247  
 Wasserstoff 291, 302  
 Wasserstoffbrennstoffzelle 301  
 Wasserstoffmolekül 302  
 Watt, James 72  
 Wattsekunde 68, 195  
 Wattstunde 69  
 Weber 186, 204  
 Weber, Wilhelm Eduard 186  
 Wechselfeld 313  
 Wechselrichter 90, 173  
 Wechselstrom 208, 216, 263

Wechselstromanschluss 242  
 Wechselstromanteil 108  
 Wechselstromverstärkung 100  
 Wegfahrsicherung 26  
 Wegstrecke 58, 70  
 Weichmagnetisch 188  
 Welle 30  
 Welligkeit 153, 159f.  
 Wendepol 201f.  
 Wendeschützschialtung 241  
 Wicklungsstrang 222  
 Wicklungswiderstand 214  
 Wicklungszahl 204  
 Widerstandsbeiwertes 63  
 Windkraftanlage 40, 182, 298  
 Windungszahl 185, 190, 198  
 Winkeldifferenz 222  
 Winkelgeschwindigkeit 71, 74f.,  
 203, 244  
 Winkelzeiger 71  
 Winter 257  
 Wirbelfeld 189, 230f.  
 Wirbelstrom 268  
 Wirbelstrombremse 189  
 Wirbelstromfeld 189  
 Wirbelstromverluste 37, 38  
 Wirkungsgrad 27, 33, 36ff., 40,  
 42f., 46, 50, 55, 77, 154, 223,  
 225, 243, 277, 301  
 Wirkungsgradklasse 40

**Y**

Yaris 52

**Z**

Zahnrad 74  
 Zahnradgetriebe 75, 78  
 Zahnradpaar 75  
 Zahnriemen 31  
 Z-Diode 128  
 ZEBRA-Batterie 299  
 Zeitintervall 58, 70  
 Zeitkonstante 116, 178  
 Zellenspannung 276, 285, 290,  
 306  
 Zener-Diode 94  
 Zener-Effekt 93  
 Zero Current 266  
 Zink 296  
 Zink-Bromid 298  
 Zoe Z.E. 20, 318  
 Zündfunke 32  
 Zündkabel 253  
 Zündkerze 32  
 Zündmethode 135  
 Zündspannung 142, 315  
 Zündung 137  
 Zündzeitpunkt 35  
 Zweidrahtleitung 269  
 Zweipunktregler 176  
 Zweivege-Gleichrichtung 158

Robert Schoblick

## Antriebe von **Elektroautos** in der Praxis

**Elektrische Antriebe – Mobilität per Steckdose.**

**Das Elektroauto gilt als Fortbewegungsmittel mit Potenzial:  
Es verursacht keine Emissionen, fährt, vom Reifengeräusch einmal  
abgesehen, nahezu lautlos und schickt sich an, unsere mobile  
Gesellschaft zu revolutionieren.**

Machen Sie sich fit für Studium und Beruf und entdecken Sie, dass im elektrischen Antrieb mehr steckt als nur Strom. Elektromobilität ist eine Herausforderung für engagierte Ingenieure, die neue Wege suchen.

Obwohl bereits fast so alt wie das Auto selbst, stellt der Elektroantrieb heute alles infrage, was wir bisher über Design, Funktionalität und Mobilität zu wissen glaubten. Längst der Ökoecke entwachsen, sorgt er für trendige Lösungen der Mobilitätsprobleme unserer Zeit: Klimaschutz, Wirtschaftlichkeit und Dynamik.

Die Batterietechnik ist das künftige Schwergewicht der Ingenieursarbeit, denn Elektroautos müssen in absehbarer Zeit langstreckentauglich werden. Gleichzeitig setzt das Fahrzeuggewicht Grenzen. Dieses Buch bietet einen Überblick über alles, was Sie über Elektroantriebe wissen müssen – vom Energiehaushalt über die moderne Leistungselektronik und die technischen Grundlagen elektrischer Antriebsmotoren bis hin zu Ladesteckern oder Batterietechnik. Ein wichtiges Plus: Hier finden sich auch Sicherheitsaspekte wie Unfallverhütung und Bergung von Elektroautos im Notfall.

Ein Elektroauto ist keine Zauberei, die Technik kein Geheimnis und für alle, die schon heute wissen wollen, wie sie morgen Auto fahren: Dieses Buch enthält alles Know-how zum Durchstarten.

### Aus dem Inhalt:

- Von der Eisenbahn zum E-Bike
- Hybridfahrzeuge
- Elektroantriebe und Nachhaltigkeit
- Energiehaushalt
- Wirkungsgrade
- Physik der Bewegung
- Restreichweitenkalkulation
- Leistungselektronik
- Integrierte Transistorschaltungen
- Systeme im Elektroauto
- Regelungstechnik
- Elektrische Antriebsmotoren
- Grundlagen Elektromagnetismus
- Gleichstrommotoren
- Asynchronmotoren
- Betriebsarten und Belastbarkeit
- Ladestecker und Fahrzeugkabel
- Batterietechnik
- Brennstoffzelle
- Ladeverfahren
- Drahtlose Ladetechnik
- Unfallverhütung/Bergung
- Und vieles mehr.



**49,95 EUR [D]**  
ISBN 978-3-645-65166-0

Besuchen Sie unsere Website  
[www.franzis.de](http://www.franzis.de)

**FRANZIS**