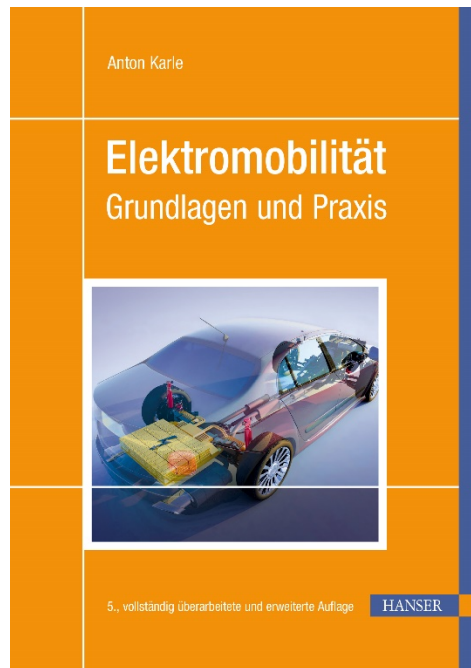


HANSER



Leseprobe

zu

Elektromobilität

von Anton Karle

Print-ISBN: 978-3-446-46860-3
E-Book-ISBN: 978-3-446-46861-0

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446468603>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

1	Einführung	1
2	Überblick Elektrofahrzeuge	6
2.1	Geschichte und grundsätzliche Bedeutung	6
2.2	Konstruktive Unterschiede zwischen Elektrofahrzeug und herkömmlichem Kraftfahrzeug	8
2.3	Die Vorteile des Elektroantriebs	11
2.4	Die Nachteile des Elektroantriebs	13
2.5	Vorgaben zur CO ₂ -Reduktion als Treiber für die Elektromobilität	15
3	Ausführungsformen von Elektrofahrzeugen in der Praxis	16
3.1	Elektro-Pkw	16
3.1.1	Reine Elektrofahrzeuge, Batterieelektrische Fahrzeuge	16
3.1.2	Elektrofahrzeuge mit Range Extender, Range Extended Electric Vehicle (REEV)	19
3.1.3	Hybridfahrzeuge, Hybrid Electric Vehicle (HEV)	20
3.1.3.1	Mikrohybrid	21
3.1.3.2	Mildhybrid	22
3.1.3.3	Vollhybrid	22
3.1.3.4	Plug-in-Hybride	23
3.1.3.5	Antriebsstruktur der Hybride	24
3.1.3.6	Hybridsysteme in der Formel 1	26
3.1.3.7	Brennstoffzellenfahrzeug	27
3.1.3.8	Beispiele Brennstoffzellenfahrzeuge	29
3.2	Elektrobusse	31

3.3	Elektro-Nutzfahrzeuge	31
3.4	Elektrofahrräder	32
3.4.1	Bauformen von Elektrofahrrädern	33
3.4.2	Reichweite von Elektrofahrrädern	36
3.5	Weitere Elektrofahrzeuge	37
3.5.1	Segway	37
3.5.2	Elektromotorräder	38
3.5.3	Elektroflugzeuge	39
4	Grundlagen Kfz-Antriebe	41
4.1	Übersicht Antriebe	41
4.2	Verbrennungsmotor	42
4.2.1	Funktion Viertaktmotor	42
4.2.2	Leistung, Drehmoment und Verbrauch des Verbrennungsmotors	44
4.2.2.1	Energiebilanz und Berechnung des Wirkungsgrads aus dem spezifischen Verbrauch	46
4.2.2.2	Lastanhebung bei Hybridfahrzeugen	48
4.2.2.3	Berechnung der Motorleistung im Verbrauchskennfeld	50
5	Elektrifizierter Antriebsstrang	52
5.1	Elektromotor	52
5.1.1	Anforderungen	53
5.1.2	Kurzbeschreibung Elektromotoren	53
5.1.3	Gleichstrommotor	53
5.1.4	Drehstrommotor	55
5.1.5	Betrieb von Drehstrommotoren in Elektro kraftfahrzeugen	59
5.1.6	Leistung und Drehzahl-Drehmomentverhalten der Elektroantriebe	60
5.1.7	Berechnungsgrundlagen für den Pkw-Elektroantrieb	62
5.1.7.1	Leistung des Antriebs und Leistung des Gesamtfahrzeugs	64
5.1.7.2	Zusammenhang Fahrzeuggeschwindigkeit und Motordrehzahl	65
5.1.7.3	Ermittlung der notwendigen Getriebeübersetzung	65

5.1.7.4	Berechnung der Antriebskraft des Fahrzeugs aus dem Drehmoment des Motors	66
5.1.7.5	Berechnung der Beschleunigung aus der Antriebskraft	68
5.2	Energiespeicher Akku	70
5.2.1	Grundlagen und Begriffe	70
5.2.2	Basiszelle Lithium-Ionen-Akku	71
5.2.3	Li-Ionen-Akku als Fahrzeugakku	74
5.2.3.1	Akkukapazität und Reichweite von Elektrofahrzeugen	77
5.2.3.2	Die Lebensdauer von Fahrzeugakkus	78
5.2.3.3	Das Batterie-Management-System (BMS)	79
5.2.3.4	Sicherheit der Fahrzeugakkus	81
5.2.4	Hersteller	81
5.2.5	Ausblick Weiterentwicklung Akkus	82
5.3	Energiespeicher Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge	84
5.4	Leistungselektronik, Inverter	90
6	Laden und Ladeinfrastruktur	93
6.1	Grundlagen Akkuladen	93
6.1.1	Die Laderate	94
6.1.2	Kapazität des Akkus	94
6.1.2.1	Kapazität in Amperestunden (Ah)	94
6.1.2.2	Kapazität in Wattstunden (Wh) und Wirkungsgrad	94
6.1.3	Anforderungen beim Laden von Lithium-Ionen-Basiszellen	95
6.1.4	Laden von Li-Ionen-Fahrzeugakkus	97
6.2	Das Laden von Elektrofahrzeugen	97
6.2.1	Ladearten und Lademodi	98
6.2.2	Zusammenhang Ladeleistung/Ladedauer	102
6.2.3	Anschlüsse zum Laden: Steckverbindungen	103
6.2.4	Sicherheit beim Laden	105
6.3	Entwicklung der Ladeinfrastruktur	105
6.4	Weiterentwicklung von Ladekonzepten	108
6.4.1	Induktives Laden	109
6.4.2	Wechselakku	110

6.4.3	Intelligentes Laden, Vehicle to Grid	111
6.4.4	Dichte von Ladestationen	112
7	Verbrauch und Reichweite von E-Fahrzeugen	114
7.1	Physikalische Grundlagen	114
7.1.1	Berechnungsgrößen	114
7.1.2	Berechnungsgleichungen für die Beschreibung der Fahrzeugbewegung	115
7.1.3	Energie und Verbrauch	117
7.1.4	Antriebskraft und Fahrwiderstände	119
7.2	Verbrauchssimulationen	121
7.2.1	Einflussgrößen	121
7.2.2	Leistung und Antriebskraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	122
7.2.3	Fahrwiderstände und Verbrauch	123
7.2.4	Einfluss der Rekuperation auf den Verbrauch	126
7.3	Verbrauch Elektrofahrzeuge im NEFZ	130
7.3.1	Der NEFZ-Fahrzyklus	131
7.3.2	Verbrauchssimulationen	134
7.3.3	Einfluss von Änderungen ausgewählter Konstruktionsparameter	138
7.3.4	NEFZ-Verbrauch bei Plug-in-Hybriden	140
7.3.5	Elektrische Reichweite (NEFZ)	143
7.3.6	Einfluss von Zusatzverbrauchern auf die Reichweite	144
7.3.6.1	Reichweitenverluste durch Heizen und Kühlen	144
7.3.6.2	Verbesserungsansätze für Heizung und Klimatisierung	146
7.4	Verbrauch und Reichweite gemäß WLTP	147
7.5	Schlussfolgerungen aus den Verbrauchsermittlungen	153
8	Strom für die Elektrofahrzeuge	154
8.1	Energieerzeugung	154
8.1.1	Primärenergiequellen	155
8.1.2	Der Strommix Deutschland	155

8.1.3	Erneuerbare Energien	159
8.1.3.1	Strom aus Photovoltaik-Anlagen	161
8.1.3.2	Windenergie	163
8.1.3.3	Strom aus Biomasse	164
8.1.3.4	Wasserkraft	166
8.2	Speicherung von Strom	168
8.2.1	Speichertechnologien	169
8.2.2	Beschreibung wichtiger Stromspeicher	170
8.2.2.1	Akkumulatoren	170
8.2.2.2	Pumpspeicherwerke	171
8.2.2.3	Erdgasspeicher	172
8.2.2.4	Power-to-Gas	173
9	Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen	177
9.1	Beurteilungsmöglichkeiten für eine Umweltbilanz	177
9.2	Herstellungs- und Verwertungsphase der E-Fahrzeuge	179
9.3	Nutzungsphase	180
9.3.1	Lärm	180
9.3.2	Luftschadstoffe	181
9.3.3	CO ₂ -Ausstoß als Maß für die Klimaschädlichkeit des Autoverkehrs	182
9.4	Ökobilanz Elektrofahrzeuge im Vergleich zu Verbrenner-Fahrzeugen	184
10	Markt	189
10.1	Kostenvergleich Elektroautos – konventionelle Fahrzeuge	189
10.1.1	Anzusetzende Kosten	189
10.1.2	Vergleichsrechnung Elektrofahrzeug/ Verbrennungsmotor-Fahrzeug	191
10.2	Angebot an Elektrofahrzeugen und Verbreitung	194
10.2.1	Verbreitung von Elektrofahrzeugen	195
10.2.2	Angebote Elektrofahrzeuge, Anfangsmodelle und Entwicklung	197
10.2.2.1	Reine Elektro-Pkw	198
10.2.2.2	Plug-in-Hybride	207

10.2.2.3	Nutzfahrzeuge	209
10.2.2.4	Brennstoffzellenfahrzeuge	211
10.3	Wirkung staatlicher Förderung	212
10.4	Förderung der Elektromobilität in Deutschland	214
10.5	Schlussfolgerungen Markt	216
11	Mobilitätskonzepte mit Elektrofahrzeugen	217
11.1	Carsharing	217
11.1.1	Carsharing im städtischen Umfeld	218
11.1.2	Carsharing im ländlichen Raum	220
11.2	E-Taxis	221
11.3	Elektrobusse	221
11.4	Güterverkehr	222
11.4.1	Paketzustellung mit Elektrofahrzeugen	223
11.4.2	Elektro-Lkw	224
12	Automatisiertes/Autonomes Fahren	225
13	Schlussfolgerungen und Gesamtbeurteilung	230
14	Berechnungen	233
14.1	Aufgaben	233
14.2	Workshop Simulation	239
	Glossar	244
	Ergänzende Informationsquellen	248
	Index	250

Vorwort

Das Jahr 2013 markiert einen Wendepunkt bei der Elektromobilität – zumindest was die öffentliche Wahrnehmung in Deutschland betrifft. Zwar hat die Bundesregierung bereits 2009 das Ziel formuliert, im Jahr 2020 sollen 1 Million Elektrofahrzeuge in Deutschland fahren. Aber erst die bei der **Internationalen Automobil-Ausstellung** im Jahr 2013 vorgestellten bzw. angekündigten Elektrofahrzeuge u. a. von BMW und VW machten deutlich, dass Elektrofahrzeuge keine Nischenprodukte mehr sind, sondern in der Mobilität eine zunehmend wichtige Rolle spielen werden.

Ob das ehrgeizige Ziel, 1 Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen im Jahr 2020 erreicht wird, ist derzeit noch offen. Welche Gründe hauptsächlich für oder gegen solche Fahrzeuge sprechen, lässt sich in wenigen Worten zusammenfassen:

Wesentliche Vorteile sind: Elektroautos sind vor Ort emissionsfrei, haben einen geringen Verbrauch und sind leise. Dem stehen die Nachteile einer derzeit zu geringen Reichweite und eines hohen Anschaffungspreises entgegen. Allerdings lässt sich aus diesen schlaglichtartigen Argumenten noch nicht ableiten, ob Elektromobilität sinnvoll und zukunftsfähig ist, oder ob es sich – mal wieder – nur um eine Modeerscheinung handelt.

Um das beantworten zu können, ist eine differenziertere Betrachtung erforderlich. Natürlich ist es wichtig, die Antriebstechnik und die derzeitigen Verkaufskosten zu beachten. Jedoch haben weitere Felder einen gravierenden Einfluss auf die künftigen Entwicklungen: Dazu gehört beispielsweise die Frage, woher der Strom für das Aufladen der Akkus kommt. Damit ist man bei einem weiteren Großthema, das eng mit Elektromobilität verbunden ist, der sogenannten Energiewende. Denn erst wenn man die Gesamtenergiebilanz, in Fachkreisen **Well-to-Wheel** (von der Quelle bis zum Rad) betrachtet, kann man fundierte Aussagen über die tatsächliche Umweltfreundlichkeit der Technik machen. Weiter ist zu überlegen, wie es mit der Infrastruktur der „Strom“-Tankstellen derzeit bestellt ist und wie sie sich entwickeln wird.

Wie anfangs angedeutet, spielt auch die Politik eine entscheidende Rolle für die künftige Entwicklung. Nicht nur wegen der erwähnten Zielvorgabe, die begleitet wird von entsprechenden Fördermaßnahmen. Viel einflussreicher wirken sich entsprechende gesetzliche Vorgaben und Verordnungen aus. Hier wären zu nennen die Bestimmungen zum Flottenverbrauch und dem dazugehörenden zulässigen CO₂-Ausstoß der Fahrzeugflotten der Hersteller. Fachleute sagen, dass die dort festgelegten Grenzwerte ohne eine verbreitete Elektrifizierung des Antriebsstrangs wohl nicht erreicht werden können. Solche Vorgaben werden nicht mehr nur national bestimmt, sondern von der EU europaweit festgelegt. Vergleichbare Vorschriften gibt es auch in den meisten Nicht-EU-Ländern, in welche die Fahrzeuge der wichtigsten Hersteller verkauft werden. Hier zeigt sich sehr deutlich eine internationale Verflechtung von Politik, Industrie und dem Marktgeschehen.

Und gleichzeitig wandelt sich das gesamte Umfeld in der Autoindustrie. Google – um nur einen Namen beispielhaft für die zunehmende Vernetzung des Autos mit dem Internet zu nennen – hält Einzug in unsere Autos. Dies ist sowohl Chance als auch Herausforderung für die etablierten Fahrzeughersteller.

Diese erste Übersicht der unterschiedlichen Einflussfelder macht deutlich: Man kann mögliche Entwicklungen nur sachgerecht einschätzen, wenn man nicht allein Einzelkomponenten betrachtet, vielmehr muss das gesamte System in seiner Komplexität fundiert analysiert werden.

Die Grundlagen für eine solche Analyse sollen in diesem Buch aufbereitet werden. Neben einem Überblick über die Fahrzeuge, die unter den Begriff „Elektromobilität“ fallen, und den technischen Grundlagen des elektrifizierten Antriebsstrangs, wird der Berechnung der zu erwartenden Verbrauchsvorteile ein Abschnitt gewidmet. Das Laden von Elektrofahrzeugen, einschließlich der notwendigen Infrastruktur, wird ebenso beleuchtet wie die Herkunft und Bereitstellung des Stromes für Elektromobilität. Natürlich werden die Kosten beachtet, wie auch das Marktgeschehen insgesamt. Die politischen Randbedingungen und der Einfluss auf die Umwelt werden dargestellt.

Auf Basis der Grundlagen und aktueller Forschungsarbeiten werden künftige Entwicklungen abgeschätzt. Damit bietet dieses Buch die Möglichkeit, sich einen fundierten Gesamteindruck zu verschaffen. Zudem kann es als Einstiegswerk für die Ausbildung im Bereich E-Mobilität genutzt werden.

Furtwangen, März 2015

Anton Karle

■ Vorwort zur 5. Auflage

War das Jahr 2020 der Durchbruch für die Elektromobilität? Das legen zumindest die rasant gestiegenen Zulassungszahlen für Elektroautos (national und international) nahe. Die gestiegene Marktakzeptanz liegt an einem stark gewachsenen Angebot von Elektrofahrzeugen mit deutlich vergrößerten Reichweiten. Und an der (in Deutschland) beträchtlich erhöhten Kaufprämie. Eine weitere fördernde Wirkung hat der stetige Ausbau der Ladeinfrastruktur. Der positive Blick auf die Elektrofahrzeuge verstärkt sich noch, weil die Verbrennerfahrzeuge zunehmend kritisch betrachtet werden. So werden von verschiedenen Stellen bereits konkrete Daten für den Ausstieg aus der Verbrennertechnologie genannt. Einige Metropolen und ganze Länder auf nationaler Ebene wollen die Neu-Zulassung von Verbrennern Mitte des 2030-Jahrzehnts verbieten. Norwegen ist mit dem angedachten Ausstiegsjahr 2025 einer der Vorreiter. Das stellt natürlich eine existenzielle Herausforderung für die etablierten Fahrzeughersteller dar und forciert die Hinwendung zur elektrischen Antriebstechnik.

Neben der steigenden Fokussierung auf die E-Fahrzeuge zeigt sich noch ein weiterer Zukunftstrend, der die Autoindustrie in den kommenden Jahren herausfordern wird: Der Trend zum automatisierten und autonomen Fahren. Weil die dafür notwendige Technologie sehr gut zum Steuerungskonzept elektrisch angetriebener Autos passt, wurde dieser Entwicklung ein separates Kapitel im Buch gewidmet.

Außerdem wurden auch die Ausführungen zu den Brennstoffzellen-Fahrzeugen erweitert. Es ist inzwischen weitgehend Konsens, dass diese Antriebsform für den Güter(fern)verkehr und für den Busverkehr eine entscheidende Rolle spielen wird. Auch weil der sogenannte „grüne“ Wasserstoff in Verbindung mit den erneuerbaren Energien eine Schlüsselrolle für eine nachhaltige und umweltfreundliche Energieversorgung einnimmt. Ob dadurch die Brennstoffzellen-Fahrzeuge auch im Pkw-Bereich eine größere Rolle spielen können, hängt von einer Verbesserung der Wasserstoff-Infrastruktur ab. Aber auch die Entwicklungen in anderen Ländern, wie Japan oder China, spielen wegen den vielfältigen internationalen Verflechtungen eine wichtige Rolle – bei der Brennstoffzelle und auch bei den anderen Zukunftstrends der Mobilität.

Furtwangen, Februar 2021

Anton Karle

Was ist Elektromobilität, was sind Elektrofahrzeuge?

Unter Elektromobilität versteht man den Personen- und Güterverkehr mit Fahrzeugen, die mit elektrischer Energie angetrieben werden. Strenggenommen zählt dazu auch die Eisenbahn, die in dieser Arbeit nur eine untergeordnete Rolle spielt. Schwerpunktmäßig befasst sich das Buch mit Elektrofahrzeugen/Elektroautos/Elektromobilen/E-Fahrzeugen, wie sie häufig etwas uneinheitlich bezeichnet werden. Aber auch Elektrofahrräder und -motorräder sowie Elektrobusse gehören dazu, sie werden kurz beschrieben.

Zur genauen Definition der Elektrofahrzeuge wird eine Aufteilung angeführt, die im *Nationalen Entwicklungsplan zur Elektromobilität* der Bundesregierung von 2009 festgelegt ist. Es sind danach folgende Fahrzeuge, die von (mindestens) einem Elektromotor angetrieben werden:

Tabelle 1.1 Typen von Elektrofahrzeugen

Fahrzeugtyp	Englische Bezeichnung	Beschreibung
(Reines) Elektrofahrzeug	Battery Electric Vehicle (BEV)	Antrieb mit Elektromotor und mit am Netz aufladbarem Akku (Batterie)
Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung (= mit Range Extender, REX)	Range Extended Electric Vehicle (REEV)	Elektrofahrzeug mit zusätzlichem Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle zur mobilen Aufladung des Akkus
Plug-in-Hybridfahrzeug	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)	Kombination Elektroantrieb und Verbrennungsmotor, Akku am Netz aufladbar
Hybridfahrzeug	Hybrid Electric Vehicle (HEV)	Verbrennungsmotor plus Elektromotor, Akku nicht am Netz aufladbar
Brennstoffzellenfahrzeug	Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle (FCHEV)	Elektromotor plus Brennstoffzelle zur Energieerzeugung

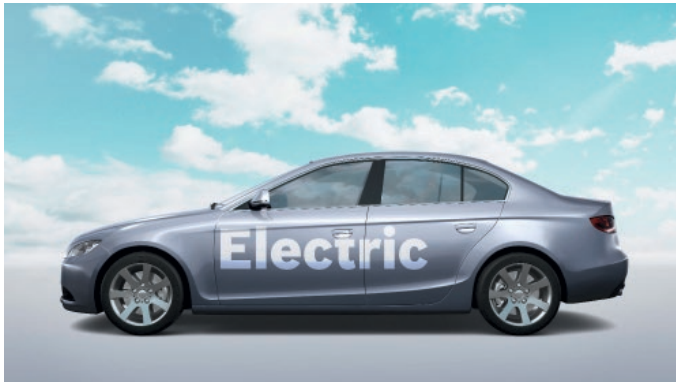


Bild 1.1
Studie eines Elektrofahrzeugs. Quelle: Robert Bosch GmbH

Warum und wie unterstützt die Bundesregierung Elektromobilität?

Nach Ansicht der Bundesregierung ist die Elektrifizierung der Antriebe ein ganz wesentlicher Baustein für eine zukunftsfähige Mobilität. Sie bietet die Chance, die Abhängigkeit vom Öl zu reduzieren, die Emissionen zu minimieren und die Fahrzeuge besser in ein multimodales Verkehrssystem zu integrieren.

Dazu wurde gemeinsam mit Fachleuten der bereits erwähnte *Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität* ausgearbeitet. Sein Ziel war und ist es, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die Markteinführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland voranzubringen. Der Plan ist im Einklang mit ähnlichen Umsetzungsplänen unserer europäischen Nachbarländer sowie der USA, Japan und China.

Gegenstand des *Nationalen Entwicklungsplans* sind die reinen Elektrofahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung und die Plug-in-Hybridfahrzeuge. Hybridfahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge sind zwar nicht direkt Gegenstand des Nationalen Entwicklungsplans, allerdings entsteht auch für sie ein Nutzen durch entsprechende Synergieeffekte.

Zur Unterstützung der Umsetzung des Entwicklungsplans wurde 2010 als Beratungsgremium der Bundesregierung die *Nationale Plattform Elektromobilität*, NPE, gegründet. Das Gremium beobachtete und analysierte die Entwicklungen im Bereich Elektromobilität. Daraus wurden Empfehlungen abgeleitet, wie die Ziele des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* erreicht werden können. Zusammengefasst wurden die Erkenntnisse in Fortschrittsberichten an die Bundesregierung, im Juni 2012 und im Dezember 2014 sowie zuletzt im Jahr 2018. Die Tätigkeit der *Nationalen Plattform Elektromobilität* wurde **zum 31. Dezember 2018 beendet** und die Themen in die Struktur der *Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität (NPM)* überführt.

Mitglieder waren etwa 20 hochrangige Experten, die in Arbeitsgruppen folgende wichtige Themen bearbeiteten:

- Antriebstechnologie,
- Batterietechnologie,
- Ladeinfrastruktur und Netzintegration,
- Normung, Standardisierung und Zertifizierung,
- Materialien und Recycling,
- Nachwuchs und Qualifizierung,
- Rahmenbedingungen.

Gibt es auf dem Markt alltagstaugliche Elektrofahrzeuge?

Bezogen auf reine Elektrofahrzeuge ist diese Frage eindeutig mit „Ja“ zu beantworten. Bereits seit der **Internationalen Automobil-Ausstellung 2013**, auf der BMW mit dem *i3*, VW mit dem *e-up* und *e-Golf* (2014) reine Elektrofahrzeuge präsentiert haben, gilt die Aussage, dass mittlerweile praktisch alle namhaften Automobilhersteller serientaugliche Elektrofahrzeuge mit steigender Modellvielfalt im Programm haben.

Die Alltagstauglichkeit solcher Fahrzeuge wurde seither durch zahlreiche Flottenversuche belegt und durch Serienfahrzeuge (z. B. dem *smart electric drive* und dem *Nissan Leaf*, bereits seit 2010 auf dem Markt) im täglichen Betrieb getestet.

Diese Fahrzeuge haben durchzugsstarke Motoren, sind wie herkömmliche Fahrzeuge hervorragend ausgestattet und erreichen inzwischen Reichweiten, die für die meisten Alltagsfahrten ausreichend sind.

Neben dem Angebot an reinen Elektrofahrzeugen gibt es ein steigendes Angebot an Plug-in-Hybriden, die sowohl mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor ausgestattet sind als auch mit Elektroantrieb und Akku. Mit diesen Fahrzeugen können Kurzstrecken bis typischerweise mehr als 50 km rein elektrisch gefahren werden. Für größere Reichweiten kommt dann der konventionelle Antrieb zum Einsatz. Insbesondere ab dem Jahr 2020 hat das Angebot an solchen Fahrzeugen mit stetig verbesserten Verbrauchs- und Reichweitendaten nochmals deutlich an Dynamik gewonnen.

Woher kommt der Strom für Elektrofahrzeuge?

Elektrofahrzeuge haben bezüglich dieser Frage einen grundsätzlichen Vorteil: Sie können im Prinzip an jeder Steckdose geladen werden und können damit auf eine vorhandene Infrastruktur zurückgreifen. Auch Strom ist ausreichend verfügbar. Die von der Bundesregierung ursprünglich angestrebten 1 Million Elektrofahrzeuge, die 2020 auf deutschen Straßen fahren sollten, benötigten nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt nur 0,3% des deutschen Strombedarfs.

Weil Elektrofahrzeuge dann besonders umweltfreundlich sind, wenn sie mit regenerativ erzeugtem Strom geladen werden, hat die Politik im *Nationalen Entwick-*

lungsplan die Kopplung der Elektromobilität an die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien festgeschrieben.

Welche Eigenschaften haben Elektrofahrzeuge und wie kommen sie beim Käufer an?

Die Eigenschaften der reinen E-Fahrzeuge, wie sie derzeit breit diskutiert werden und welche die Kaufentscheidungen der Kunden maßgeblich beeinflussen, lassen sich kompakt zusammenfassen:

Elektromobile sind leise, haben einen geringen Energieverbrauch und sind vor Ort emissionsfrei. Sie sind, selbst wenn man die zur Ladung notwendige Erzeugung des Stroms mit dem sogenannten „Strommix Deutschland“ berücksichtigt, umweltfreundlicher als herkömmliche Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.

Dem stehen aber zwei gravierende Nachteile entgegen: (Reine) Elektromobile haben eine geringe Reichweite. Kam bereits die erste Generation der Fahrzeuge (ab 2013) zwar im Realbetrieb schon auf Werte über 150 km, einem Bereich, der für die meisten Nutzer mehr als 90% der Tagesfahrten abdeckt. Gleichwohl bleiben die restlichen, längeren Fahrten, die mit dem Fahrzeug nur schwer zu realisieren sind. Deshalb wird eine Infrastruktur aufgebaut, die bei längeren Fahrten ein Zwischenladen an öffentlichen Stromladesäulen in vertretbarer Zeit ermöglichen soll. Die Fahrzeuge der Generation ab 2020 mildern den Reichweiten-Nachteil deutlich: Reichweiten von 300 km bis 500 km und darüber sind (je nach gewählter Akkukapazität) nicht mehr unüblich und Schnellladefähigkeit wird zunehmend zum Standard. Trotzdem bleibt für Fernfahrten der Nachteil, dass das Laden an einer Stromtankstelle deutlich länger dauert, als das konventionelle Tanken.

Ein weiterer Nachteil: Elektroautos sind teuer! Die Mehrkosten zum herkömmlichen Fahrzeug sind hauptsächlich durch den teuren Akku bedingt. Das ist auch mit geringen Betriebskosten schwer aufzufangen. Daher lief der Verkauf eher schleppend. In Deutschland (und vielen anderen Ländern) wird durch Kauf-/Umweltprämien auch dieser Nachteil deutlich verringert.

Wie entwickelt sich die Situation?

Nicht erst seit den letzten Jahren wird deutlich, dass dem Klimawandel auf allen Ebenen entgegengewirkt werden muss. Damit werden die CO₂-Emissionen der Verbrennermotoren zunehmend kritisch betrachtet und durch stetig strenger werdende Grenzwerte deutlich beschränkt. Die dadurch erforderlichen Anstrengungen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes wird die Verbrennerfahrzeuge verteuern. Und der Druck auf die Automobilindustrie, den Anteil an (zumindest lokal) emissionsfreien Fahrzeugen zu erhöhen, wird wachsen. Gleichzeitig ist aber auch schon abzusehen, dass die Kosten für die teuren Akkus in den nächsten Jahren weiter

deutlich sinken werden, sodass sich die Wirtschaftlichkeit zugunsten der E-Fahrzeuge verbessert.

Verbessern wird sich durch die technische Entwicklung weiterhin die Reichweite. Aber sie wird, soweit das heute abschätzbar ist, auch in den nächsten Jahren nicht in den Bereich heutiger Dieselaautos kommen. Diesbezüglich wird ein E-Fahrzeug ein herkömmliches Fahrzeug für große Strecken nicht ohne Weiteres ersetzen können. Aber es gibt inzwischen (und es wird mehr geben) auch Ansätze zu einem Verkehrssystem, wie man mit diesem Nachteil umgeht, ohne die Gesamtmobilität zu beeinträchtigen.

Was ist die Zielrichtung dieses Buchs?

Schon der erste Überblick dieses Kapitels zeigt, dass die Einführung der Elektromobilität eine komplexe Angelegenheit ist. In den folgenden Darstellungen werden die technischen Sachverhalte fundiert analysiert, Berechnungsmethoden zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit dieser Antriebe vorgestellt und Modellrechnungen/Simulationen durchgeführt. Weiter werden der Stand der Technik des Elektromobils erarbeitet und Grundlagen für realistische Kostenberechnungen erstellt.

Mit diesen Erkenntnissen kann ein Vergleich der zwei Systeme, Elektrofahrzeuge und Otto- bzw. Dieselfahrzeuge, sachgerecht durchgeführt werden. Damit lassen sich dann fundierte Aussagen treffen, mit welchen Verkehrskonzepten, welchen notwendigen Randbedingungen (einschließlich der Energieerzeugung) und ggf. mit welchen Fördermaßnahmen das E-Mobil einen sinnvollen und wirksamen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität liefern kann.

Das Buch kann somit als Sach-, aber auch als Lehrbuch für die Grundlagen der Elektromobilität genutzt werden.

Index

Symbole

- 5G Hochgeschwindigkeitsverbindungen 229
- 48 Volt Bordnetz-Technik 22

A

- Abbremsen 129
- Abhol- und Abgabestation 220
- Abrechnungsmodalitäten 106
- Abrechnungssystem 106
- Abwärme 144
- AC-Laden 103
- AC-Schnellladung 106
- ADAC ECOTest 151
- Agora Verkehrswende 187
- Akku 70
 - Wechsel 32, 110
- aktiver Bremswiderstand 119
- Aktoren 225
- Alterung 78
- Ammoniak 86
- amorpher Kohlenstoff 72
- Amperestunden 94
- Angebot Elektrofahrzeuge 197, 230
- Anschaffungskosten 189
- Antriebsakkus 78
- Antriebsenergie 117
- Antriebskonzepte 118
- Antriebskraft 64, 67, 115, 121
- Antriebsmoment 68, 115
- Antriebsstrang 10
- Asynchronmotor 53, 57

- Auslassventil 43
- Ausrollversuche 133
- Automated Lane Keeping System (ALKS) 227
- Automatikgetriebe 12
- Automatisiertes/Autonomes Fahren 225, 227, 229

B

- BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) 190
- Batterieelektrische Fahrzeuge 16
- Batteriegehäuse 75
- Batterieherstellung 180
- Batterie-Management-System 35, 79, 97
- Batteriewechsel 32
- battery electric vehicles 70
- Battery Pack 28
- Bestpunkt 45
- Bestpunkt-Drehzahl 48
- Betriebskosten 14, 190
- Betriebsszenarien 125
- bidirektionales Laden 112
- Bilanzierungsregeln 158
- Bioethanol-Betrieb 147
- Biogasanlagen 164
- Biomasse 164
- Bleiakku 6
- Blockheizkraftwerke 165
- Braunkohle 158
- Bremsen 119
- Bremsenergie 135

Brennstoff 147
Brennstoffzelle 28 f., 52
Brennstoffzellenfahrzeug 16, 27, 84, 175,
211
Brennstoffzellen-Hybridbus 31
Bruttostromerzeugung 156

C

car2go 217
Carbon Footprint 177
Carsharing im ländlichen Raum 220
CATL 82
CCCV-Ladeverfahren (Constant Current,
Constant Voltage) 96
CCS-Ladedose 104
CCS-System 204
CHAdemo-System 98, 104
Chamäleon Ladesystem 201
Charge-Depleting-mode 149
Charge Sustaining mode 149
Citaro Fuel-Cell-Hybrid 30
CO₂
– Ausstoß 15, 231
– Bilanz 142, 177, 180
– Flottenausstoß 142
– Grenzwerte 15
– Reduktion 15
Coefficient of Performance 147
Combined Charging System (CCS) 98,
104
Combo-2-Stecker 104
Combo-System 101
Conversion-Design 9
Coulomb-Wirkungsgrad 94
Crashtests 81
cw-Wert 138

D

Dauerleistung 60
Dauermagneten 55
DC-High-Ladung 101, 104
DC-Low-Ladung 101
Dieselmotor 41, 45

Differenzial 64
Differenzialgetriebe 17
Direkteinspritzer 44
Drehbeschleunigung 115
Drehmassen 117
Drehmassenzuschlagsfaktor 120
Drehstrom 59
Drehstrommotor 55, 59
Drehstromnetz 17
Drehzahlbereich 61
DriveNow 217
Druckleitungen 171
dynamisches Kräftegleichgewicht 116
dynamisches Verhalten 239

E

E-Bikes 33
Eckdrehzahl 61
Effizienz des Elektroantrieb 137
e-gas 175
Einsparpotenzial 137
Einspritzzeitpunkt 44
Eisen-Phosphat-Kathode 75
Electric Traction Motor 28
elektrifizierter Antriebsstrang 52
elektrische Reichweite 141
elektrische Speicher 169
Elektrobusse 31
Elektrobusverkehr 222
elektrochemische Speicher 169
Elektrofahrräder 32
Elektrofahrzeuge 1, 3
Elektroflugzeuge 39
Elektroinfrastruktur 98
Elektro-Lkw 224
Elektrolyse 84, 173
Elektromagnet 55
Elektromotor 52
Elektromotorräder 38
Elektro-Multikopter 39
elektronische Motorregelung 225
Elektro-Pkw 16
Elektro-Scooter 38
energetische Amortisationszeit 179

- Energiebilanz 46, 128
 - Energie des Kraftstoffs 47
 - Energiedichte 73, 75
 - Energieeffizienz 20, 92
 - Energieerhaltungssatz 64, 66
 - Energiegehalt 47, 137
 - Energiegehalt Wasserstoff 85
 - Energiespeicher 20, 70, 84, 111, 140, 169
 - Energieverbrauch 4, 118, 124
 - Energiewandler 20
 - Energiewende 230
 - Entlade-Schlussspannung 97
 - Entsorgung 179
 - Erdgas (CNG)-Motoren 41
 - Erdgasfahrzeuge 174
 - Erdgasspeicher 172
 - Erhaltungsaufwendungen 190
 - erneuerbare Energien 155
 - Erneuerbare-Energien-Richtlinie 159
 - Erntefaktor 179
 - Erzeugungskosten 168
 - E-Taxis 221
 - EU Battery Alliance 215
 - EU-Ladestecker 103
 - EU-Strommix 185
 - Eutrophierung 178
- F**
- Fahrkomfort 17
 - Fahrmodus 35
 - Fahrprofil 153
 - Fahrstabilität 10
 - Fahrtenschreiber 227
 - Fahrwiderstand 115
 - Fahrwiderstandskurven 123
 - Fahrzeugbeschleunigung 69, 121
 - Fahrzeugaufbremse 127
 - Fahrzeuelektronik 90
 - Fahrzeugflotten 110
 - Fahrzeugheizung 14
 - Fahrzeugklassen 131
 - Fahrzeugmasse 139
 - Fahrzeugplattform 204
 - Fahrzeugschleife 109
 - Fahrzyklus 130
 - F-Cell-Modell 30
 - Feinstaubbelastung 181
 - FI-Schalter 105
 - Fixkosten 189
 - Flottenwert 183
 - Flugzeuge mit Brennstoffzellenantrieb 40
 - Flüssigspeichertank 87
 - Flüssigwasserstoff 86
 - Fördermaßnahmen 112
 - Fördermittel 214
 - fossile Energiequellen 155
 - Free-floating-Konzept 220
 - free floating system 219
 - Frequenz 59
 - Frontmotor 33
 - Fuel Cell Stack 28, 88
 - Fuel Cell Vehicle 16
 - Fuel Tank - hydrogen 28
- G**
- Garantiebedingungen 79
 - Gasinfrastruktur 173
 - Gaskraftwerke 173
 - Gasmotoren 173
 - Gasmotor-Generator-Kombination 165
 - Gasnetz 85
 - Gasspeichertank 87
 - Generator 18, 24
 - Generatorbetrieb 11
 - Geräuschemissionen 217
 - Gesamteffektivität der Brennstoffzellenantriebe 85
 - Gesamtreichweite 36
 - Gesamtverbrauch 141
 - Gesamtwirkungsgrad 152
 - Getriebeabstimmungen 62
 - Getriebeübersetzung 65
 - Gewicht 138
 - Gleichstrom-Ladestationen 101
 - Gleichstrommotoren 53
 - Gleichstrom-Schnellladen 98, 204
 - Global Warming Potential 177

Graphen 83
Graphit 72
grüner Wasserstoff 84
Güterverkehr 31, 209, 222

H

H₂-Netze 85
Halbleitermaterial 92
Haushaltssteckdose 102
Heckmotor 33
Heizleistung 144
Heizung 144, 221
Herstellungsphase 179
Hochdruck-Wasserstofftank 211
Höchstdrehzahl 65
Hochvoltbatterien 18
Hybridantriebe 41
Hybridfahrzeug 16, 20
Hybridisierung 20, 231
Hybridmotor 58
Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle 27

I

Important Projects of Common European Interest (IPCEI) 215
In-Cable Control-Box (ICCB) 99
Induktion 57
induktives Laden 109
Infrastruktur 4, 97
Innenwiderstand 72, 95
innovatives Design 199
integrierter Startergenerator (ISG) 22
Inverter 18, 90
ionischer Verdichter 87
Isolation 146

K

Kamera 228
Kapazität 93
Kastenwagen 210
Kaufprämie 197, 213
KERS 26

Kfz-Antriebe 41
kinetische Energie 128
Klimaanlage 144
Klimaschädlichkeit 182
Klimatisierung 75, 146
Kollektor 55
Kommunikationsmodul 100
Kommutator 55
Kompaktklasse 121, 137
Komponententests 81
Kompressionsarbeit 85
konduktives Laden 109
konventionelle Kraftwerke 168
kostenloses Parken 213
Kosten Plug-in Hybride 194
Kostenvergleich 189
Kräftegleichgewicht nach d'Alembert 124
Kraftfahrt-Bundesamt 182, 196
Kraftstoffeinsparungen 23
Kraftstofftank 10
Kraftstoffverbrauch 23
Kraft-Wärmekopplung 165, 173
Kraftwerkspark 155
Kryopumpen 87
Kryotank 86
Kühlbedarf 147
kumulierter Energieaufwand 179
Kurbelwelle 42
Kurbelwellen-Startergenerator 22

L

Ladearten 98
Ladegeräte 18, 91
Lade-Gleichspannung 91
Ladeinfrastruktur 113, 213, 221
Ladekabel 93, 97, 100
Ladekontrolle 80
Ladeleistung 102
Lademodi 98
Ladepunkte 113
Laderate 94
Laderaumvolumen 210
Ladesäulen 231

Ladeschlussspannung 79, 96
 Ladepule 109
 Ladestationen 112
 Ladestrom 73
 Ladeszenarien 101
 Lade- und Entladekurve 95
 Ladeverfahren 96
 Ladeverluste 143, 149
 Ladevorgang 79
 Ladezyklen 73, 82
 Lärm 180
 Lastanhebung 48
 Lastmanagement 80
 Lastspitzen 169
 Laufwasserkraftwerke 166
 Lautstärke 12
 Lebensdauer 78, 191
 Lebenszyklus 179
 Leerlaufdrehzahl 61
 Leichtbaumaterialien 199
 Leistungselektronik 90
 Leistungsverlauf 136
 Leistungsverzweigter Hybrid 25
 Leistungszahl 147
 Level 3 226
 LFP-Zellen 75
 Lidar 229
 Li-Luft-Akku 83
 Lithium-Festkörper-Akkus 83
 Lithium-Ionen-Akku 7, 41, 70
 Lohner-Porsche 6
 lokal emissionsfreie Fahrzeuge 182
 Luftschadstoffe 180
 Luftwiderstand 69, 117, 124
 Luftwiderstandsbeiwert 138

M

Magnetfeld 55, 57
 Mautgebühren 23
 maximales Drehmoment 61, 122
 mechanische Antriebsenergie 11
 mechanische Nutzarbeit 47
 mechanische Speicher 169
 mechanischer Antriebsstrang 138

Mehrwertsteuer 213
 Memoryeffekt 71, 96
 Messzyklen 141
 Methangas 164
 Methanisierung 174
 MGU-H 26
 MGU-K 26
 Mikrohybrid 21
 Mildhybrid 22
 Mischhybrid-Struktur 24
 Mittelmotoren 34
 Mobilitätskonzepte 217
 Mode-4-Gleichstromladung 104
 Model 3 203
 Modellbildung 239
 Modellrechnungen 5
 Modul 74
 Momentengleichgewicht 67
 Motor

- Auslegung 63
- Drehmoment 46, 48
- Geräusch 180
- Leistung 50
- Reibung 127

 multimodales Verkehrssystem 2
 Muschel-Diagramm 45

N

nachhaltige Mobilität 159, 232
 Nachhaltigkeit 188
 nachwachsende Rohstoffe 165
 Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur 113
 Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität 1, 159, 217
 Natrium-Nickelchlorid-Batterie 70
 NEFZ 130, 140
 NEFZ-Verbrauch 140
 Nennkapazität 144
 Netzstörungen 169
 Neuer Europäischer Fahrzyklus 130
 Neuwagenflotte 182
 Neuzulassungen 213
 New Energy Vehicles 214

Nickel-Metallhydrid-Akku 70
Niederspannungs-Bordnetz 91
Nippon Charge Service 108
Nockenwelle 43
Northvolt 82
Nullemissionsfahrzeuge 182
Nutzfahrzeuge 31, 209
Nutzungsdauer 189
Nutzungsphase 177
Nutzungsverhalten 170

O

Offshore-Anlagen 85, 164
Ökobilanz 178, 184
Ökosysteme 178
Ölressourcen 159
ÖPNV-Angebote 220
Ottomotor 6, 41, 45

P

Paketzustellung 223
parallele Struktur 24
Pedal Electric Cycle 32
PEM-Brennstoffzelle 88
permanentmagneterregte Synchron-
motoren 56
photoelektrischer Effekt 161
Photovoltaik 161
Photovoltaik-Anlagen 161
Pkw-Kaufsteuer (BPM) 213
Planetengeräte 66
Plug-in-Hybrid 3, 16, 23, 140, 230
Polymer 72
Pouch-Zellen 76
Power-Swap-Stations 111
Power-to-Gas 86, 173
Power-to-Gas Projekte 175
Primärenergiequellen 154
Prinzip von d'Alembert 115
prismatische Zellen 76
Protonen-Austausch-Membran 88
Proton Exchange Membrane Fuel Cell
88

Proton Exchange Membrane, PEM 84,
88
Prüffahrzeug 133
Prüfstelle 185
Prüfzyklus 134
PTC 146
Pumpspeicherkraftwerke 166, 171
Purpose-Design 8
Purpose-System 9

Q

Querschnittsfläche 138

R

Radarsensoren 228
Radnabenmotoren 6, 59
Rahmenbedingungen 213
Range Extender 19, 25
Range-Extender-Motor 19
Realfahrten 151
Real-Reichweite 144
Rechtliche Rahmenbedingungen 226
Recycling 62, 179, 216
Regelbarkeit 55
Regelung Nr. 101 131, 140
regenerativ erzeugter Strom 3
Reibung 69, 117
Reibungsverluste 119
Reichweite 4, 78
Reichweitenverlängerung 19
Reichweitenverminderung 146
Reichweite von Elektrofahrrädern 36
Reifen-Fahrbahngeräusche 181
Rekuperation 11, 18, 24, 53, 119, 126, 135
Reluktanzmotor 58
Restkapazität 129
Restwert 192
Ridesharing 219
riemengetriebener Startergenerator
(RSG) 22
Rollreibung 123
Rotation 64, 114
Rotor 54

Rückgewinnung von Energie 120
 Rundzellen 75

S

SAE-Levels 226
 Schadstoffbelastung 181
 Schadstoffe 11
 Schaltgetriebe 12
 Schaltkupplung 12
 Schleifkontakte 57
 schnelle Pedelecs 33
 Schnellademöglichkeit 231
 Schrittweite 69
 Schubbetrieb 119
 Schutzschaltung 96
 schwarzstartfähig 171
 Second Life 170, 187
 Second-Use-Phase 180
 Segeln 22
 Segway 37
 Selbstentladung 72
 Selbstzündung 44
 Sensoren für das Automatisierte Fahren 228
 serielle Struktur 24
 Service-Aufwand 13
 Service-Kosten 13
 ShareNow 217
 Sicherheit 79, 81
 Sicherheitsüberwachung 80
 Silizium 72, 83
 Siliziumkarbid 92
 Simulation 117, 136, 239, 242
 SLAM 107
 smart grid 170
 SoC 101
 Solarstrom 162
 Solarzellen 147
 Solid-State-Akkus 83
 Sommersmogpotenzial 178
 Speicherseen 167
 Speichertank 28
 Speicherung 85
 spezifischer Kraftstoffverbrauch 45

staatliche Förderung 212
 Stadtfahrzeug 202
 Startdrehzahlen 61
 Starterbatterie 21
 Startergenerator 21
 Start-Stopp-Automatik 22, 132
 State of Charge (SoC) 80
 stationsunabhängiges Carsharing 218
 Stator 54
 Staustufen 166
 Steckverbindung 103
 Steckvorrichtung 100
 Steigungswiderstand 69, 124
 Steuer 191
 Steuererleichterungen 213
 Steuerungselektronik 13
 Stirnradgetriebe 66
 Stopzeiten 132
 Strafzahlungen 183
 Strahlungswärmeeintrag 146
 Stromangebot 231
 Strombedarf 168
 stromerregte Synchronmotoren 57
 Stromerzeugung 11, 168
 Strommarkt 168
 Strommix Deutschland 155
 Stromspeicher 170
 Stromüberschuss 168
 Stromversorger 168
 Subventionsprogramm 213
 Supercharger 106
 Supercredits 183
 Synchronmaschine 56
 Synchronmotor 53, 56, 58
 synthetisches Gas 174
 Systemkosten 83
 Systemleistung 194

T

Tank-to-Wheel 11
 Tank-to-Wheel-Betrachtung 154
 Tankvorgang 211
 terrestrische Solarkonstante 162
 thermische Massen 146

Tiefentladen 73
Tiefentladungspunkt 79
Toleranzausgleich 75
Total Cost of Ownership 189
Trägheitskraft 69
Transport 85
Treibhaus-Effekt 146
Treibhausgase 177
Treibhauspotenzial 177
Tretlagermotor 34
Turbinen 166
Typ-2-Stecker 103
Typen für Steckverbindungen 103

U

Überlastschutz 105
Überschussstrom 173
Ultraschallsensor 228
UMBRaLa 179
Umfangsgeschwindigkeit des Rades 66
Umrichter 18
umrichtergespeister Drehstrommotor 17
Umweltbelastung 154
Umweltbilanz 177
Umweltmanagement 178
Untersetzungsgetriebe 12, 17
Untertagespeicher 172
utility factor (UF) 150

V

Vehicle to Grid 111
Verbrauch
– Berechnungen 158
– Kennfeld 45, 48
– Messungen 133, 140
– Simulationen 121
– Wert 137, 142
Verbrauchsangabe 133
Verbreitung von Elektrofahrzeugen 189,
195
Verbrennungsgase 43
Verbrennungsmotor 3, 6, 41
Verdichtung 44

Vereinte Nationen 134
Verflüssigung 85
Vergleichsfahrzeug 184
Verluste 128
Verschleißreparaturen 190
Verwertungsphase 177, 179
Verzögerungsphasen 132
Viertaktmotor 42
Viertakt-Zyklen 43
Vollhybrid 22
Vorkette 157
Vorkonditionierung 147
Vor-Ort-Betrachtung 182

W

Wallbox 99
Wärmepumpe 147
Wärmereregelsystem 133
Wärmetauscher 146
Wärmeverluste 95
Warngeräusche 12
Wartungs- und Werkstattkosten 191
Wasserkraft 166
Wasserkraftwerke 167
Wasserstoff 27, 173
Wasserstoffflugzeug 39
Wasserstoffgewinnung 84
Wattstunden 94
Wechselakku 18, 110f.
Wechselrichter 18, 161
Wegfahrsperrung 105
Weiterentwicklung Akkus 82
Well-to-Wheel 11
Well-to-wheel-Wirkungsgrad 89
Werkstattkosten 193
Wertverlust 190
Widerstandskurven 123
Wiederverwendung 179
Wiener Übereinkommen 226
Windanlagen an Land 164
Windeinflüsse 133
Windenergieanlagen 163
Wirkungsabschätzungen 178
Wirkungsgrad 48, 137

- Wirtschaftlichkeit 5
- Wirtschaftskommission für Europa 131
- WLTC, Worldwide harmonized Light Duty Test Cycle 147
- WLTP 147
- WLTP-Verbrauch 149
- Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP) 134

- Z**
- Zellenherstellung 81
- Zentralmotoren 59
- Zero Emission Vehicle 11
- Zugangsberechtigung 106
- Zulassungszahlen 183, 213
- Zusatzheizung 146
- Zusatzverbraucher 144
- Zwangselüftung 146
- Zweitnutzung 171
- Zweit- oder Drittfahrzeuge 220
- Zwischenspeicherung 119
- Zyklen-Alterung 78
- Zyklus 130
- Zylinder 42