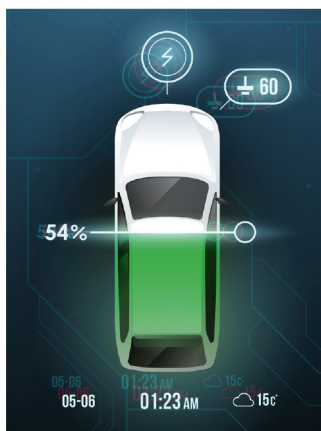


Jörg Rippel

# E-AUTOS

## Das Handbuch für den Umstieg



- Von der Modellauswahl bis zur Wallbox:  
Saubere und günstig im Alltag unterwegs
- Antriebs- und Ladetechnik verstehen
- Batteriemanagement und -pflege, Reichweite,  
Ökobilanz und Checkliste für den E-Auto-Kauf



**Zum aktuellen Förderprogramm**

## Kapitel 4

# Die Batterie – das Herzstück des Elektroautos

Die Traktionsbatterie ist das Herzstück jedes Elektroautos. Sie ist ungefähr das, was früher der Tank in einem herkömmlichen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor war. Der Unterschied: Während bei Verbrennern die Größe des Tanks (und der Verbrauch) über die Reichweite entscheidet, entscheidet beim E-Auto die Batterie sowohl über die Reichweite als auch über die mögliche Motorleistung und die Ladegeschwindigkeit. Und die Traktionsbatterie macht auch viel vom Preis eines E-Autos aus. Für den Kauf bedeutet das: Die Wahl der richtigen Batterietechnologie und -größe beeinflusst Ihr Fahrerlebnis maßgeblich.

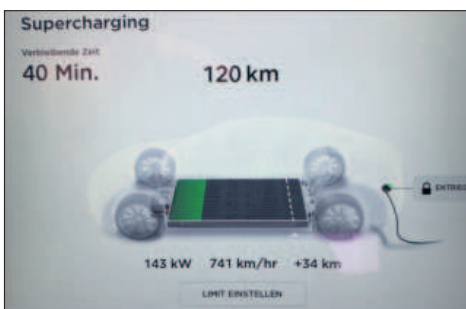


Abbildung 4.1: Ein Tesla beim Laden mit rund 140 kW

Die Entwicklung der Elektroautobatterie war ein jahrzehntelanger Marathon. Erst die Erfindung der Lithium-Ionen-Batterie durch John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham und Akira Yoshino (wofür sie 2019 den Nobelpreis erhielten) machte praxistaugliche Elektroautos möglich. Von der ersten Entwicklung in den 1970ern bis zur Marktreife 1991 vergingen über 20 Jahre intensiver Forschung.

### Akkumulator vs. wiederaufladbare Batterie

Ich verwende das Wort *Akkumulator* (Akku) in diesem Buch nicht als Bezeichnung für die Traktionsbatterie eines Elektroautos. Stattdessen nutze ich die korrekte Bezeichnung *Batterie* oder *wiederaufladbare Batterie*.

Der *Akkumulator* (früher auch »Sammler« genannt) bezeichnet nur die einzelne Zelle, die mit weiteren Zellen zu einem Akkupack zusammengeschaltet werden kann, was in dieser Gesamtheit dann als wiederaufladbare Batterie bezeichnet wird.

Die Bezeichnung »Akku« ist eine umgangssprachliche Verkürzung und bei der Batterie eines Elektroautos technisch nicht korrekt. Um die Dinge einfach zu halten, verwende ich in diesem Buch also die Wörter *Batterie*, *Traktionsbatterie* oder *Fahrbatterie* und meine damit immer das Gleiche.

## 4.1 Batterietechnologien und ihre Eigenschaften

Moderne Elektroautos nutzen verschiedene Arten von Lithium-Ionen-Batterien, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung deutlich unterscheiden:

- **NCA:** Nickel-Kobalt-Aluminium
- **NMC:** Nickel-Mangan-Kobalt
- **LFP:** Lithium-Eisen-Phosphat

Jede Batterie-Technologie hat ihre Stärken und Schwächen. Schauen wir uns diese Batterien einmal genauer an.

### 4.1.1 NCA- und NMC-Batterien: Die Reichweiten-Champions

NCA- und NMC-Zellen bieten eine hohe Energiedichte, was mehr Energie pro Kilogramm bedeutet und sie für Fahrzeuge mit größerer Reichweite und hoher Leistung attraktiv macht. Tesla verwendet diese Technologien in seinen Premium-Modellen Model S und Model X sowie in den Long-Range-Varianten von Model 3 und Y.

Die Vorteile sind beeindruckend: Sie laden schneller als LFP-Zellen und sind aufgrund ihrer hohen Leistung perfekt für Performance-Modelle geeignet. Ein Tesla Model S mit NCA-Batterie erreicht Reichweiten von über 600 km – das entspricht vielen Verbrennern mit vollem Tank.

Doch diese Technologie hat auch ihre Tücken. Diese Batterien sollten idealerweise zwischen 20 % und 90 % geladen werden, um die Lebensdauer zu maximieren. Vollständige Entladung oder dauerhaftes Laden auf 100 % sollte vermieden werden. Außerdem enthalten sie teure und teilweise problematische Rohstoffe wie Kobalt und Nickel.

#### Energiedichte: Was bedeutet das?

Die *Energiedichte* gibt an, wie viel Energie in einer Batterie pro Gewicht oder Volumen gespeichert werden kann. Sie wird in zwei verschiedenen Einheiten gemessen:

- Die **gewichtsbezogene Energiedichte** (Wattstunden pro Kilogramm, Wh/kg) zeigt, wie viel Energie pro Gewichtseinheit gespeichert wird. Das ist bei Elektroautos besonders wichtig, da jedes zusätzliche Kilogramm mehr Energie beim Beschleunigen kostet.

- Die **volumenbezogene Energiedichte** (Wattstunden pro Liter, Wh/l) zeigt, wie viel Energie in einem bestimmten Raum gespeichert werden kann. Das ist wichtig, wenn der Bauraum begrenzt ist.

#### 4.1.2 LFP-Batterien: Der aufstrebende Favorit

Tesla begann 2021 mit dem Einsatz von  $\text{LiFePO}_4$ -Batterien in den Standard Range-Modellen des Model 3 und Model Y, zunächst in der *Shanghai Gigafactory*, mittlerweile auch in anderen Werken weltweit. Diese Entscheidung war interessant und neu, denn LFP-Batterien galten lange als Technologie zweiter Klasse.

LFP-Zellen sind sicherer, langlebiger und günstiger, haben jedoch eine geringere Energiedichte und sind nicht für Performance-Modelle geeignet. Der große Vorteil ist aber: LFP-Zellen können bis zu 5000 Ladezyklen durchlaufen, was sie zu einer der langlebigen Batterien auf dem Markt macht.

Ein weiterer entscheidender Pluspunkt ist die Sicherheit. Im Falle eines Unfalls oder einer Beschädigung ist die Wahrscheinlichkeit eines Brandes oder einer Explosion bei LFP-Zellen deutlich geringer. Die thermische Durchgangsgrenze von LFP liegt bei 270 °C, verglichen mit 150 °C bei NCA.

Was für den Alltag besonders praktisch ist: LFP-Batterien können Sie problemlos täglich auf 100 % laden, ohne eine nennenswerte Degradierung befürchten zu müssen. Das vereinfacht die Laderoutine erheblich, denn so brauchen Sie im Alltag keine Ladebegrenzung, um Ihre Batterie zu schonen.

#### Aktuelle Entwicklungen bei Tesla

Tesla arbeitet kontinuierlich an Verbesserungen: Für 2025 plant das Unternehmen eine neue 62,5-kWh-LFP-Batterie von CATL, die bei gleicher Größe und gleichem Gewicht mehr Reichweite bietet. Ein kürzlich veröffentlichtes Patent zeigt, wie Tesla mit einer gemischten Kathodentechnologie LFP-Batterien optimiert, indem Standard-LFP mit einem kleinen Anteil nickelbasierter Materialien kombiniert wird.

Auch andere Hersteller ziehen nach. BMW, Mercedes und VW planen perspektivisch ebenfalls den Einsatz von LFP-Batterien, um Kosten zu senken und die Nachhaltigkeit zu verbessern.

## 4.2 Energiedichte und Reichweite

Die Energiedichte ist der Schlüssel zur Reichweite. Moderne Lithium-Ionen-Batterien erreichen bis zu 250 Wattstunden (Wh) pro Kilogramm. Das ist etwa doppelt so viel wie frühere Nickel-Cadmium-Batterien und dreimal mehr als Blei-Säure-Batterien. Bei der volumenbezogenen Energiedichte sind es sogar bis zu 500 Wh pro Liter.

Warum sind beide Werte wichtig? Bei Elektroautos zählt primär das Gewicht, denn jedes zusätzliche Kilogramm kostet Energie beim Beschleunigen. Es ist einfacher, etwas mehr Bauraum in einem E-Auto bereitzustellen, als ein zu hohes Fahrzeuggewicht auszugleichen. In anderen Anwendungen wie Hörgeräten ist hingegen das Volumen entscheidender.

Die Reichweitenunterschiede zwischen den Technologien zeigen sich deutlich: Ein Tesla Model 3 Long Range mit NMC-Batterie schafft über 700 km, während die Basis-Version desselben Fahrzeugs mit LFP-Batterien rund 520 km erreicht.

Interessant ist die Entwicklung beim Verbrauch: Als das Model 3 2017 auf den Markt kam, lag der WLTP-Verbrauch noch bei etwa 15 kWh/100 km. Die erste Long-Range-Version verbrauchte laut ADAC-Test damals rund 21 kWh/100 km. Heute schafft die effizienteste Variante, das Long Range mit Hinterradantrieb, 11 kWh/100 km nach WLTP, also fast 30 Prozent weniger. Selbst das aktuelle Basismodell kommt mit 13 kWh/100 km aus. Diese Verbesserung zeigt, wie viel effizienter moderne Elektroautos in wenigen Jahren geworden sind.

### Felgenreöße und Reichweite

Größere Felgen sehen sportlich aus, kosten aber Reichweite. Der Wechsel von 19 auf 21 Zoll kann den Verbrauch um 5 bis 15 % erhöhen. Bei manchen Fahrzeugen bedeutet das einen Reichweitenverlust von 50 bis 80 km nach WLTP.

Der Grund: Größere Felgen wiegen mehr und erhöhen das Rotationsträgheitsmoment. Bei jeder Beschleunigung muss der Motor mehr Masse in Bewegung setzen. Hinzu kommt: Größere Felgen erfordern breitere Reifen mit flacherem Querschnitt, was sowohl den Rollwiderstand als auch die Luftverwirbelung erhöht.

Achten Sie bei Elektroautos also auf die Felgenform: Viele Hersteller setzen auf aerodynamisch optimierte, teils geschlossene Designs statt auf die offenen Speichenfelgen von Verbrennern. Diese *Aero-Felgen* verringern Luftverwirbelungen am Rad und können den Verbrauch deutlich senken, selbst bei größerem Durchmesser.

Der Reichweitenunterschied durch Felgen erscheint klein, aber hier zeigt sich wieder: Viele kleine Faktoren addieren sich. Felgen, Reifendruck, Dachgepäckträger, Fahrweise, jedes Detail zählt beim E-Auto mehr als beim Verbrenner, weil der Elektromotor so effizient arbeitet. Wie sehr Ihre Fahrweise und Fahrgewohnheiten die Reichweite beeinflussen, erkläre ich Ihnen ausführlich in Abschnitt 14.1, »Sparsames Fahren steigert die Reichweite«.

**Meine Empfehlung:** Wählen Sie die kleinstmögliche Felgenreöße, die Ihnen optisch noch gefällt. Kleinere Felgen sind günstiger in der Anschaffung und die Reifen kosten bei jedem Wechsel weniger. Und die gewonnenen 30 bis 50 km Reichweite nehmen Sie gerne mit.

## 4.3 Lebensdauer und Alterung

Die Sorge um die Batteriebensdauer ist eine der größten Hürden beim Elektroauto-kauf – oft zu Unrecht. Moderne Traktionsbatterien sind erheblich robuster als die Akkus in Smartphones oder Laptops, was mehrere Gründe hat.

### 4.3.1 Das Batterie-Management-System macht den Unterschied

Moderne Traktionsbatterien werden mit einem ausgeklügelten *Batterie-Management-System* (BMS) geladen, das die Batterie optimal schont. Der Ladestrom und die Temperatur der Zellen werden überwacht, sodass die Batterie immer unter optimalen Bedingungen geladen wird.

Der entscheidende Unterschied zu Consumer-Elektronik ist: Für einen Laptop oder ein Mobiltelefon ist ein Batterie-Management-System mit Thermalmanagement zu aufwendig und zu kostspielig. In einem aktuellen Elektroauto ist dies allerdings der Standard. Ich erkläre das BMS noch genauer in Kapitel 6, »Das Batterie-Management-System (BMS) und das Thermalmanagement«.

### 4.3.2 Eine clevere Ladestrategie schützt die Batterie

Bei einer Elektroauto-Batterie wird ein Puffer verwendet, der meist irgendwo zwischen 5 und 10 % liegt. Die vom Fahrer verwendbare Kapazität ist somit kleiner als die tatsächlich verbaute Kapazität der Traktionsbatterie. Das bedeutet bei einer Traktionsbatterie mit 10 % Puffer: Wenn Ihr Auto »leer« anzeigt, sind noch etwa 5 % Reserve da. Ist es »voll«, sind tatsächlich nur 95 % geladen. Sie können das auch in den Kategorien »Brutto« und »Netto« denken.

Diese Strategie hat mehrere Vorteile: Sie schont die Batterie schon einmal grundsätzlich vor zu schneller Alterung und führt zu einem schnelleren Laden, da Batterien umso langsamer laden, je voller sie werden. Und eine Degradation der Batterie liegt somit erst einmal außerhalb des genutzten Kapazitätsbereichs, womit sie sich nicht auf die Reichweite auswirkt, wenn diese durch das BMS kompensiert wird.

### 4.3.3 Aktuelle Studienergebnisse zur Lebensdauer

Die neuesten Forschungsergebnisse sind ermutigend. Eine Stanford-Studie zeigte überraschend, dass Elektroauto-Batterien unter realen Alltagsbedingungen mit Lade- und Ruhephasen langsamer verschleissen als unter konstanten Laborbedingungen. Noch überraschender: Unregelmäßiges Laden und Entladen, das früher als schädlich galt, schont in Wirklichkeit die Batterien. Das bedeutet für Sie: Ihr natürliches Fahrverhalten ist optimal für die Batterie.

Eine weitere umfassende Studie zeigt konkrete Zahlen. Bei einer Untersuchung von über 7.000 Fahrzeugen ergab sich, dass der »State of Health« in den ersten 30.000 km zwar von 100 auf etwa 95 % sinkt, sich dann aber stabilisiert. Bei 100.000 km liegt er dann im Schnitt noch bei etwa 90 %.

Aber denken Sie auch an die Brutto- und Netto-Kapazität einer Batterie. Sie werden wahrscheinlich keinen Reichweitenverlust bemerken, weil der Verlust vom Puffer kompensiert wird.

### **Garantien geben Sicherheit**

Die Hersteller untermauern ihr Vertrauen in die Batterietechnologie mit umfangreichen Garantien. Details zu den Garantiebedingungen verschiedener Hersteller finden Sie in Kapitel 11 und Kapitel 12.

## **4.4 Batterietypen von heute und morgen**

Die Batterietechnologie entwickelt sich rasant weiter. Neben den etablierten Lithium-Ionen-Varianten arbeiten Forscher und Unternehmen an neuen Ansätzen, wie eine Batterie aufgebaut sein kann.

### **4.4.1 4680-Zellen: Teslas nächste Generation**

Tesla entwickelt neue 4680-Zellen, die direkt als tragende Teile der Karosseriestruktur verbaut werden – das sogenannte *Structural battery*-Konzept. Diese Zellen sind größer als die bisherigen und sollen die Produktion vereinfachen.

Allerdings läuft die Entwicklung nicht reibungslos. Mangels ausreichender Zellproduktion werden Fahrzeuge mit 4680-Zellen aktuell nur für den US-Markt produziert. Es ist schwierig, die Herstellung in ausreichend hohen Stückzahlen zu skalieren. Elon Musk stellte sogar ein Ultimatum, dass die Kosten gesenkt und technische Probleme gelöst werden sollen, sonst droht das 4680-Projekt zu scheitern.

### **4.4.2 Festkörperbatterien: Der große Hoffnungsträger**

Die Festkörperbatterie gilt als Heiliger Gral der Batterietechnologie: Alle suchen nach ihr. Sie verspricht höhere Energiedichte, mehr Sicherheit und schnelleres Laden. Doch die Realität ist ernüchternd.

Sieht man sich an, wie lange die Optimierung der Lithium-Ionen-Batterie bis zur vollen Tauglichkeit als Traktionsbatterie gedauert hat, ist mit der Festkörperbatterie in nächster Zukunft wohl nicht zu rechnen. Um vom Labormuster bis zur Serienfertigung zu gelangen, sind im günstigsten Fall fünf bis zehn Jahre nötig.

Noch ist nicht mal belegt, ob die Festkörperbatterie den Anforderungen im Alltagsbetrieb gewachsen ist – es liegen keine umfassenden Tests und keine Langzeiterfahrungen vor.

#### 4.5 Lohnt sich das Warten auf die Wunderbatterie?

Viele potenzielle Elektroautokäufer warten auf die *Wunderbatterie*, die alle Probleme lösen soll. Aber die Antwort ist klar: Nein, das Warten lohnt sich nicht.

In den letzten Jahren wurde schon von Lithium-Metall-, Lithium-Schwefel-, Meerwasser-, Graphit-, Blei-Kohlenstoff-, Metall-Schwefel-, Nano-Röhrchen- und Graphen-Akkus gesprochen. Jeder wurde als »Batterie-Revolution« ausgerufen und stand kurz vor dem Durchbruch.

Die Realität sieht anders aus: Es sind nur Ideen und Laborexperimente. Von diesen ist die *Festkörperbatterie* momentan möglicherweise noch am wahrscheinlichsten, aber auch sie ist derzeit nur ein Experiment.

Die nächsten ein, zwei oder drei E-Autos können Sie ohne Bedenken mit der Batterietechnologie kaufen, die gerade aktuell in dem Fahrzeug steckt. Damit machen Sie bis auf Weiteres nichts falsch. Und eine Garantie bekommen Sie darauf ja auch. Und das wird auch die günstigste Variante sein, denn jede neue Technologie kostet zunächst immer viel Geld und macht ein Produkt teuer.



Abbildung 4.2: Wer damals auf die Wunderbatterie gewartet hätte, hätte lange warten können

Die heutigen Batterien sind bereits so gut, dass sie für den Alltag völlig ausreichen. Ein Tesla Model 3 mit LFP-Batterie für unter 40.000 € hat 490 km Reichweite; das hätte vor noch nicht mal zehn Jahren als Science-Fiction gegolten.

#### 4.6 Recycling und Rohstoffgewinnung

Das Thema Recycling gewinnt enorm an Bedeutung, da die Zahl der Elektroautos exponentiell steigt und die ersten Fahrzeuge inzwischen das Ende ihrer Lebensdauer erreichen.

#### 4.6.1 Aktuelle Recyclingverfahren

Der finnische Energieversorger *Fortum* verwendet ein hydrometallurgisches Verfahren, um Batterien mit über 80 % zu recyceln. Dabei werden Kobalt, Mangan, Nickel und Lithium zurückgewonnen, um diese wieder für neue Batterien zu verwenden.

Auch in Europa haben sich Firmen dem Recycling zugewandt. Die deutsche Firma *Duesenfeld*, nur 13 km vom VW-Werk in Braunschweig entfernt, zerlegt Altbatterien mechanisch und gewinnt dabei bis zu 91% der Materialien zurück.

##### **Second Life: Zweites Leben für Autobatterien**

Vor dem Recycling können die Batteriezellen noch für andere Zwecke genutzt werden. Da selbst in einer nicht mehr nutzbaren Elektroauto-Batterie noch gute Zellen enthalten sind, können diese in Pufferspeichern für Ladesäulen oder Photovoltaikanlagen eingesetzt werden.

#### 4.6.2 Neue Gesetzgebung treibt das Recycling voran

Die neue EU-Batterieverordnung, die seit Februar 2024 gilt, verschärft die Recyclinganforderungen erheblich. Ab 2025 müssen Hersteller den CO<sub>2</sub>-Ausstoß ihrer Batterien offenlegen, und bis 2031 gelten Mindestquoten für recycelte Materialien.

Die Sammelziele für Altbatterien steigen schrittweise: Gerätebatterien müssen zu 63 % bis 2027 und zu 73 % bis 2030 gesammelt werden. Mit dem neuen deutschen Batteriegesetz sind Einzelhandel, kommunale Sammelstellen und Hersteller verpflichtet, alle Altbatterien kostenfrei zurückzunehmen.

Eine aktuelle Fraunhofer-Analyse zeigt: Die zu erwartende Batterie-Recyclingkapazität in Europa steigt trotz mehrerer stornierter Projekte weiter an. Bis 2030 wird die angekündigte Recyclingkapazität die Menge an alten Batterien, die zum Recycling anfallen, deutlich übersteigen. Europa kann dann mehr Batterien recyceln, als tatsächlich zurückkommen.

#### 4.6.3 Die Rohstoff-Herausforderung

Lithium stammt hauptsächlich aus Salzlaugen unter ausgetrockneten Salzseen zwischen Chile, Bolivien und Argentinien. Beim Abbau wird diese Sole an die Oberfläche gepumpt und in großen Evaporationsbecken durch Sonnenenergie konzentriert.

Wichtig zu wissen: Von der weltweiten Lithiumförderung werden etwa 37 % zur Herstellung von Batterien verwendet, dicht gefolgt vom Einsatz in der Glas- und Keramikindustrie. Lithium ist also nicht nur für Batterien wichtig. Auf das Thema der Lithiumgewinnung gehe ich in Kapitel 21, »Ökobilanz und ethische Aspekte« noch einmal ausführlich ein.

**Innovationen beim Recycling**

US-Forscher der *University of Wisconsin-Madison* haben ein neues elektrochemisches Verfahren entwickelt, das Lithium kostengünstiger aus LFP-Batterien zurückgewinnen soll als die bisherige Hydrometallurgie. Das Verfahren ist bereits patentiert, und eine Ausgründung soll den Weg in die Praxis ebnen.

**4.6.4 Wirtschaftliche Aspekte des Recyclings**

Trotz gestiegener Rohstoffpreise lohnt sich das Recycling aus wirtschaftlicher Sicht noch nicht. Es ist weiterhin billiger, Lithium oder Kobalt neu zu fördern. Da die Nachfrage in den nächsten Jahren radikal steigen und die Verfügbarkeit möglicherweise sinken wird, ist hier eine Änderung schnell zu erwarten.

Ein Faktor kommt noch hinzu: Ab 2031 schreibt die EU für neue Batterien einen Mindestanteil von 6 % an recyceltem Lithium vor, 2036 steigt der Wert auf 12 %.

Das Recycling wird sich zu einem wichtigen Wirtschaftszweig entwickeln. Die Kombination aus gesetzlichen Vorgaben, steigenden Rohstoffpreisen und technologischen Durchbrüchen macht das Batterierecycling zunehmend wirtschaftlich attraktiv. Für Sie als Verbraucher bzw. Verbraucherin bedeutet das: Die Umweltbilanz von Elektroautos wird kontinuierlich besser, und die Abhängigkeit von Rohstoffimporten sinkt.

TEIL II

## **Technik im Detail**

# Kapitel 5

## Antriebstechnik

Nachdem Sie nun die Grundlagen kennen, tauchen wir in die technischen Details ein. In diesem Teil des Buches erkläre ich Ihnen, wie Elektromotoren, Batterien und Ladetechnik im Detail funktionieren.

Die Batterie ist beispielsweise mehr als nur ein Energiespeicher, sie bestimmt als Bindeglied zwischen Motor und Ladetechnik die Leistungsfähigkeit des gesamten Antriebsstrangs. Wie die Zellen verschaltet sind, welche Motortypen zum Einsatz kommen und warum ein E-Auto ohne Schaltgetriebe auskommt, erkläre ich Ihnen in diesem Kapitel.

### 5.1 Motortypen und Leistungsklassen

Die Batterie bildet das Herzstück jedes Elektrofahrzeugs – sie fungiert als entscheidende Schnittstelle zwischen Elektromotor und Ladetechnik. Die Größe der Traktionsbatterie und die Art der Verschaltung ihrer Zellen bestimmt direkt die Leistungsfähigkeit des gesamten Antriebsstrangs.

#### 5.1.1 Warum E-Autos oft hohe Leistungswerte haben

Wenn Sie die technischen Daten von Elektroautos betrachten, fällt Ihnen vielleicht auf: Selbst kompakte Modelle haben oft beachtliche PS-Zahlen. Ein VW ID.3 bringt in der Basisversion 170 PS mit, ein Tesla Model 3 Standard-Range sogar 283 PS. Woher kommt das?



Abbildung 5.1: Ein Tesla Model 3 in seinem natürlichen Habitat: Kalifornien

Die Antwort liegt in der grundlegenden Physik von Elektromotoren. Anders als Verbrennungsmotoren liefern sie ihr maximales Drehmoment sofort ab dem Stillstand. Während ein Benzinmotor erst hochdrehen muss, um Kraft zu entwickeln, zieht das E-Auto von der ersten Sekunde an kraftvoll los.

Drehmoment und Leistung hängen direkt zusammen. Die Formel lautet:

$$\text{Leistung} = \text{Drehmoment} \times \text{Drehzahl}$$

Ein Elektromotor muss genug Drehmoment aufbringen, um das Fahrzeug auch bergauf oder mit Anhänger flüssig anfahren zu lassen. Dieses hohe Anfangsdrehmoment liegt konstruktionsbedingt auch bei höheren Drehzahlen weiter an, allerdings oft abgeschwächt.

Rechnen Sie das einmal durch: Angenommen, ein E-Auto benötigt 300 Nm Drehmoment für zügiges Anfahren. Bei einer Motordrehzahl von 5.000 U/min ergibt sich daraus bereits eine Leistung von etwa 157 kW, also 214 PS. Steigt die Drehzahl weiter auf 10.000 U/min, verdoppelt sich die Leistung auf über 400 PS, selbst wenn das Drehmoment konstant bleibt. Und Elektromotoren drehen sich schnell.

Moderne E-Autos nutzen diese Charakteristik geschickt aus: Sie regeln die Leistung elektronisch und passen sie der jeweiligen Fahrsituation an. Beim Anfahren liefert der Motor sein volles Drehmoment, bei hohen Geschwindigkeiten drosselt die Elektronik gezielt, um Batterie und Motor zu schonen.

Das erklärt auch, warum Sie die hohe Leistungszahl im Alltag kaum wahrnehmen: Sie steht vor allem auf dem Papier. In der Praxis fahren Sie die meiste Zeit im mittleren Leistungsbereich: komfortabel, effizient und ohne die permanente Höchstleistung abzurufen.

### 5.1.2 Die zentrale Rolle der Batterie

Die Konstruktion der Traktionsbatterie entscheidet dabei über jeden Aspekt der Fahrzeugleistung. Die einzelnen Batteriezellen sind in einer durchdachten Reihen- und Parallelschaltung angeordnet, um sowohl die gewünschte Spannung zu erreichen als auch die maximale Stromabgabe zu ermöglichen. Diese Verschaltungslogik bestimmt unmittelbar, welche Stromstärke der Elektromotor abrufen kann. Und der verfügbare Strom bestimmt die mögliche Leistung.

Bei der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen der einzelnen Zellen – die meisten modernen Elektrofahrzeuge arbeiten mit Systemspannungen von 400 oder 800 Volt (V). Um diese Spannungsebenen zu erreichen, schalten die Ingenieure Hunderte von Einzelzellen in Serie. Zusätzlich verschalten sie weitere Zellstränge parallel, was die verfügbare Kapazität und den maximal möglichen Entladestrom erhöht.

Diese parallele Verschaltung macht den entscheidenden Unterschied: Je mehr parallele Zellstränge die Batterie enthält, desto mehr Strom kann sie liefern. Ein Elektromotor mit 150 kW Leistung benötigt bei 400 Volt Systemspannung beispielsweise 375 Ampere (A)

Strom. Die Batterie muss diese Strommenge kontinuierlich bereitstellen können – und das funktioniert nur mit einer ausreichenden Anzahl parallel geschalteter Zellen.

### 5.1.3 Motortypen im technischen Detail

Elektrofahrzeuge nutzen hauptsächlich zwei Motortypen: den *Asynchronmotor* (ASM) und den *permanentenerregten Synchronmotor* (PSM). Beide Technologien arbeiten nach unterschiedlichen physikalischen Prinzipien und stellen verschiedene Anforderungen an die Batterie:

1. Der **Asynchronmotor** erzeugt sein Magnetfeld durch Induktion in den Rotorwicklungen. Diese Technologie benötigt zunächst Anlaufstrom für die Magnetisierung, arbeitet danach aber sehr robust und wartungsarm. Asynchronmotoren zeigen ihre Stärken vor allem bei konstanten Drehzahlen und hohen Lasten. Das sind typische Eigenschaften für Autobahnfahrten oder Transportanwendungen.
2. **Permanentenerregte Synchronmotoren** verwenden starke Neodym-Magnete im Rotor und reagieren unmittelbar auf Änderungen der Steuerspannung. Diese Motoren erreichen höhere Wirkungsgrade, besonders im Teillastbereich, und liefern spontan ihr maximales Drehmoment. Die präzise Steuerung erfordert allerdings eine leistungsfähige Elektronik und stellt hohe Anforderungen an die Batteriecharakteristik.

### 5.1.4 Leistungsklassen und ihre Batterieanforderungen

Die Automobilindustrie unterscheidet typischerweise zwischen verschiedenen Leistungsklassen, die jeweils spezifische Batteriekonfigurationen erfordern:

- **Kleinwagenklasse (50–80 kW)**: Diese Fahrzeuge arbeiten meist mit 400-Volt-Systemen und kleineren Batteriekapazitäten zwischen 20–40 kWh. Die Zellverschaltung orientiert sich an den Anforderungen für den Stadtverkehr und moderate Autobahngeschwindigkeiten. Ein typisches System verwendet etwa 96 Zellen in Reihe für die Grundspannung und 4 bis 6 parallele Stränge für die Stromkapazität.
- **Mittelklasse (100 –150 kW)**: Hier kommen Batterien mit 50–75 kWh zum Einsatz, die sowohl höhere Dauerleistungen als auch größere Reichweiten ermöglichen. Die Verschaltung wird komplexer – oft 108 Zellen in Serie mit 6 bis 8 parallelen Strängen. Diese Konfiguration erlaubt Dauerleistungen um 100 kW und Spitzenleistungen bis 150 kW.
- **Hochleistungs-klasse (200+ kW)**: Sportwagen und Premium-SUVs benötigen Batteriesysteme mit 75–100+ kWh und hochstromfähige Verschaltungen. Manche Hersteller verwenden bereits 800-Volt-Systeme, um bei gleicher Leistung geringere Ströme zu benötigen. Eine typische 800-Volt-Konfiguration nutzt etwa 192 Zellen in Serie mit 8 bis 12 parallelen Strängen.

### 5.1.5 Direkter Einfluss auf die Ladetechnik

Die Batterieverschaltung bestimmt aber nicht nur die Motorleistung einerseits, sondern auch die maximale Ladegeschwindigkeit andererseits. Die Anzahl der parallelen Zellstränge legt fest, wie viel Ladestrom die Batterie verkraftet. Ein System mit 6 parallelen Strängen kann typischerweise doppelt so schnell laden wie ein System mit 3 Strängen – vorausgesetzt, die Zellen vertragen die entsprechende C-Rate, d.h. einen entsprechend hohen Strom.

Moderne Schnellladesysteme erreichen bei 400-V-Architekturen Ladeströme von 400 bis 500 A, was Ladeleistungen bis 200 kW ermöglicht. 800-V-Systeme halbieren die Stromstärke bei gleicher Leistung: 350 kW Ladeleistung erfordern nur noch 440 A statt 875 A bei 400 V. Diese geringeren Ströme reduzieren die Verluste in Kabeln und Steckverbindern erheblich.

Die thermischen Eigenschaften der Verschaltung spielen auch eine entscheidende Rolle: Parallele Zellen teilen sich nicht nur den Strom, sondern auch die entstehende Wärme. Eine intelligente Verschaltung mit mehr parallelen Strängen verteilt die thermische Belastung besser und ermöglicht höhere Ladeleistungen ohne Überhitzung.

#### Was ist die C-Rate?

Die *C-Rate* beschreibt das Verhältnis zwischen Lade- oder Entladestrom und der Batteriekapazität. Das C steht dabei für *Kapazität* (englisch: *Capacity*) der Batterie. Eine C-Rate von 1C bedeutet: Der Lade- oder Entladestrom entspricht genau der Kapazität der Batterie. Bei einer 60-kWh-Batterie wären das 60 Ampere. Bei 2C fließen 120 Ampere, bei 0,5C nur 30 Ampere.

### 5.1.6 Die Batterie als systemisches Bindeglied

Die Traktionsbatterie als Bindeglied zwischen Motor und Ladeelektronik muss somit gleichzeitig als Energiespeicher für den Fahrbetrieb und als Zwischenpuffer beim Laden funktionieren. Beim Rekuperieren (also bei der Energierückgewinnung während des Bremsens) muss sie große Ströme aufnehmen können, beim Beschleunigen wieder abgeben.

Diese Doppelfunktion erfordert eine ausgewogene Zellchemie: Die Zellen müssen sowohl hohe Entladeströme für sportliche Fahrleistungen als auch hohe Ladeströme für schnelles Laden verkraften. Moderne Lithium-Ionen-Zellen mit Nickel-Kobalt-Aluminium-(NCA-) oder Nickel-Mangan-Kobalt-(NMC-)Kathoden erreichen C-Raten von 2 bis 3 C beim Entladen und 1 bis 2 C beim Laden.

Das Batterie-Management-System (BMS) überwacht dabei kontinuierlich den Zustand jeder einzelnen Zelle und optimiert die Leistungsverteilung. Bei Temperaturen unter 5°C reduziert es automatisch die verfügbare Leistung, um Lithium-Plating zu vermeiden. Bei Temperaturen über 55°C aktiviert es die Kühlung und begrenzt bei Bedarf die Lade- oder Entladeleistung.

**Lithium-Plating**

Lithium-Plating entsteht, wenn sich beim Laden Lithium-Ionen als Metall auf der Anode ablagern, statt in die Graphitstruktur einzudringen. Das passiert vor allem bei niedrigen Temperaturen oder zu schnellem Laden. Die Folgen: Die Akkukapazität sinkt dauerhaft. Zudem bilden sich nadelartige Strukturen (Dendriten), die den Separator durchdringen und einen Kurzschluss auslösen können.

**5.1.7 Wechselwirkungen im Gesamtsystem**

Die Leistungscharakteristik einer Batterie verändert sich auch mit dem Ladestand. Eine fast leere Batterie kann oft höhere Ladeströme aufnehmen als eine bereits zu 80 % gefüllte. Und durch die Verschaltungslogik kann dies wiederum berücksichtigt werden: Systeme mit mehr parallelen Zellen zeigen weniger Leistungsabfall bei hohen Ladezuständen.

Auch die Temperaturabhängigkeit der Zellchemie wirkt sich direkt auf Motor- und Ladeleistung aus. Kalte Batterien liefern weniger Strom und laden langsamer. Das Thermalmanagement-System muss die Batterie dann erst auf Betriebstemperatur bringen, bevor Höchstleistungen möglich werden.

Diese enge Verzahnung zwischen Batteriezellenverschaltung, Motorleistung und Ladetechnik erklärt, warum Elektrofahrzeuge als aufeinander abgestimmte Gesamtsysteme entwickelt werden müssen. Die Batterie bestimmt als zentrales Element die Möglichkeiten und Grenzen des gesamten Antriebsstrangs.

**5.2 Ein-, Zwei- und Mehrmotorenkonzepte**

Ein Motor, zwei Motoren oder vier? Diese Entscheidung prägt das Fahrverhalten eines Elektrofahrzeugs grundlegend. Die Anzahl der Motoren beeinflusst Effizienz, Beschleunigung, Traktion und Fahrdynamik.

**5.2.1 Einmotorenkonzepte – klassisch und effizient**

Die meisten Elektrofahrzeuge setzen auf einen einzelnen Elektromotor, der typischerweise die Vorderräder antreibt. Diese Konfiguration bietet optimale Effizienz, da nur ein Motor die gesamte Antriebsenergie an der Vorderachse bereitstellt und keine Verluste durch eine Kraftübertragung zur anderen Achse entsteht.

Bei einem Wagen mit Frontantrieb sitzt der Motor meist integriert mit einem Reduktionsgetriebe in der vorderen Fahrzeugeinheit. Diese Anordnung nutzt den vom Verbrenner bekannten und verfügbaren Bauraum optimal aus und hält das Antriebssystem kompakt. Fahrzeuge wie der Volkswagen ID.3 oder der Hyundai Ioniq zeigen, dass Frontantrieb bei

Elektrofahrzeugen sehr gut funktioniert – die geregelte Kraftentfaltung des Elektromotors vermeidet die typischen Nachteile wie Antriebsschlupf bei starker Beschleunigung. Wenn Sie mal im Winter auf Schnee und Eis anfahren, werden Sie den Unterschied sofort bemerken.

Der Heckantrieb mit einem Motor hat andere Vorteile. Die Gewichtsverteilung wird ausgewogener: Die Batterie ist ja meist im Fahrzeugboden zwischen den Achsen positioniert, ein großer Teil der sonstigen Technik ist im vorderen Teil des Fahrzeugs untergebracht und der Motor befindet sich an der Hinterachse. Das alles sorgt für eine gute Traktion beim Beschleunigen und macht engere Wendekreise möglich, da die Vorderräder nur lenken müssen.

### 5.2.2 Zweimotorenkonzepte – Allrad mit Intelligenz

Zwei Motoren ermöglichen einen permanenten Allradantrieb. Im Gegensatz zu mechanischen Allradsystemen kann das Fahrzeug die Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse allerdings elektronisch und damit nahezu verzögerungsfrei regeln.

Bei der typischen Konfiguration platziert der Hersteller je einen Motor an Vorder- und Hinterachse. Jeder Motor arbeitet mit seinem eigenen Wechselrichter, sodass beide unabhängig voneinander angesteuert werden können. Diese Flexibilität eröffnet neue Fahrdynamikkonzepte: Bei normaler Fahrt kann das System nur einen Motor nutzen und den anderen komplett abschalten, um Energie zu sparen. Bei Bedarf schaltet es beide zu.

Die Kraftverteilung lässt sich je nach Fahrsituation optimieren: Auf trockener Fahrbahn mit konstantem Tempo reicht oft der hintere Motor. Bei rutschigen Bedingungen verteilt das System die Kraft optimal zwischen beiden Achsen. Beim Beschleunigen kann der Wagen so die Traktion maximieren und beim Kurvenfahren die Fahrstabilität verbessern.

### 5.2.3 Drei- und Mehrmotorenkonzepte – maximale Performance

Hochleistungsfahrzeuge setzen zunehmend auf drei oder vier Motoren. Der Mercedes EQS mit drei Motoren kombiniert einen Vorderachsmotor mit zwei separaten Hinterachsmotoren. Diese Konfiguration ermöglicht *Torque Vectoring*, so wird die individuelle Kraftverteilung zwischen linkem und rechtem Hinterrad genannt.

Viermotor-Systeme mit je einem Motor pro Rad bieten theoretisch maximale Kontrolle. Jedes Rad kann individuell angesteuert werden, was wiederum völlig neue Fahrdynamikkonzepte möglich macht. Allerdings steigt die Komplexität erheblich: Vier Motoren benötigen vier Wechselrichter, die koordiniert arbeiten müssen. Diese Variante wurde schon mehrfach mit Nabenmotoren ausprobiert; mir ist allerdings kein Fahrzeug bekannt, das diese Technik in Serie einsetzt.

### 5.2.4 Radnabenantriebe – Zukunftstechnologie mit Hürden

Radnabenmotoren platzieren kleine Elektromotoren direkt in den Rädern. Dieses Konzept maximiert den Innenraum, da keine zentrale Antriebseinheit benötigt wird. Theoretisch macht es auch die präziseste Kraftverteilung möglich, da jedes Rad individuell kontrolliert werden kann.

Praktische Herausforderungen bremsen jedoch die Verbreitung: Die ungefederten Massen steigen erheblich, was den Fahrkomfort verschlechtert. Die Motoren in den Rädern sind Schmutz, Wasser und mechanischen Belastungen ausgesetzt. Die Kühlung bei der Fahrt und die Wartung werden schwieriger.

Einige Prototypen und Spezialfahrzeuge verwenden bereits Radnabenmotoren, für Serienfahrzeuge haben sie sich noch nicht durchgesetzt.

### 5.2.5 Antriebssteuerung und Systemintegration

Die Ansteuerung mehrerer Motoren erfordert eine ausgefuchste Steuerelektronik. Jeder Motor benötigt seinen eigenen Wechselrichter (*Inverter*), der die Gleichspannung der Batterie in dreiphasigen Wechselstrom für den Motor umwandelt. Die zentrale Steuereinheit koordiniert alle Wechselrichter und berechnet die optimale Kraftverteilung.

Moderne Systeme arbeiten mit Millisekunden-Reaktionszeiten: Rutscht ein Rad, kann das System innerhalb von 10 bis 20 Millisekunden gegensteuern – schneller als jedes mechanische System. Die Integration ins Fahrdynamiksystem ermöglicht Funktionen wie elektronische Differenzialsperren oder aktive Kurvenstabilisierung.

Die Rekuperation (Energierückgewinnung) profitiert besonders von Mehrmotorensystemen. Beim Bremsen können alle Motoren als Generatoren arbeiten und Energie in die Batterie zurückspeisen. Die Bremskraftverteilung lässt sich so optimal regeln, ohne dass die mechanischen Bremsen eingreifen müssen, wenn ein Rad sich aufgrund des Untergrunds anders beim Bremsen verhält als die anderen.

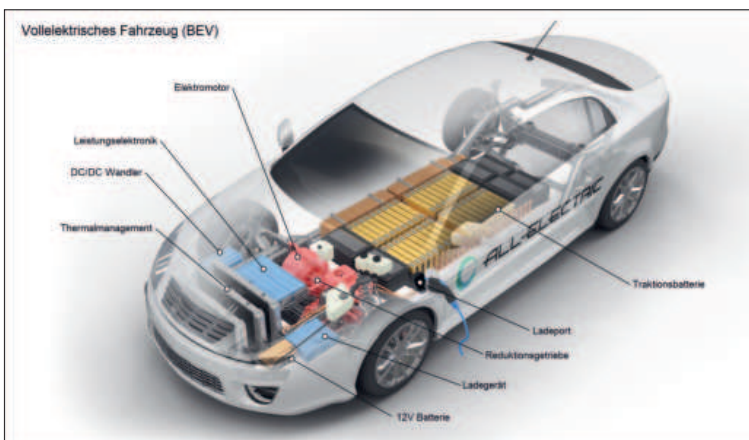


Abbildung 5.2: Beispielhafter Aufbau eines vollelektrischen Fahrzeugs.

### 5.2.6 Herstellerspezifische Ansätze

Tesla setzt bei seinen Performance-Modellen konsequent auf Zweimotoren-Allrad mit einem kleineren Vorderachsmotor für Effizienz und einem größeren Hinterachsmotor für Performance. Audi nutzt bei seinen E-Tron-Modellen eine ähnliche Philosophie, optimiert aber stärker auf Komfort.

BMW geht mit dem iX einen anderen Weg und verwendet zwei unterschiedlich ausgelegte Motoren: Der vordere arbeitet ohne seltene Erden und fokussiert sich auf Effizienz, der hintere nutzt Permanentmagnete für hohe Leistung. Mercedes-AMG entwickelt für seine Performance-Elektrofahrzeuge Drei- und Viermotorensysteme mit bis zu 1000 kW Gesamtleistung.

Chinesische Hersteller wie BYD oder Nio experimentieren mit verschiedensten Konfigurationen, da sie weniger durch bestehende Antriebskonzepte geprägt sind. Einige chinesische Hersteller nutzen untereinander bereits standardisierte Motormodule, die sich flexibel kombinieren lassen.

Diese Vielfalt zeigt: Elektromotoren eröffnen völlig neue Freiheitsgrade im Antriebsstrangdesign. Die optimale Konfiguration hängt von den Prioritäten ab, die der Hersteller setzt: Effizienz, Performance, Kosten oder Fahrdynamik.

## 5.3 Getriebe bei Elektrofahrzeugen

Die meisten Elektrofahrzeuge kommen ohne klassisches Schaltgetriebe aus, ein einzelnes *Reduktionsgetriebe* (auch *Untersetzungsgetriebe* genannt) übersetzt die hohe Drehzahl des Elektromotors auf die niedrigere Raddrehzahl. Das ist ein fundamentaler Unterschied zu Fahrzeugen mit einem Verbrennungsmotor.

### 5.3.1 Warum Elektromotoren meist ohne Schaltgetriebe auskommen

Elektromotoren liefern ihr maximales Drehmoment vom Stillstand an und halten es über einen weiten Drehzahlbereich konstant. Ein moderner Elektromotor erreicht Drehzahlen von 15.000 bis 20.000 U/min, während Autoräder bei Autobahngeschwindigkeit nur etwa 1.000 bis 1.500 U/min erreichen. Diese große Spreizung lässt sich mit einer festen Übersetzung von etwa 8:1 bis 12:1 elegant abdecken. Ein Schaltgetriebe wäre überflüssig, würde nur Gewicht, Kosten und Verschleiß bedeuten. Das einstufige Reduktionsgetriebe reicht völlig aus.

Im Gegensatz dazu haben Verbrennungsmotoren ein sehr schmales Drehmomentband. Sie müssen über ein mehrgängiges Getriebe in verschiedenen Drehzahlbereichen arbeiten, um sowohl Anfahrt als auch Höchstgeschwindigkeit zu ermöglichen. Elektromotoren umgehen dieses Problem durch ihre gleichmäßige Kraftentfaltung über einen großen Drehzahlbereich.

### Es gibt Ausnahmen

Im Porsche Taycan ist ein Zweiganggetriebe an der Hinterachse verbaut, laut Prospekt für die typische Sportwagenphilosophie: »brutale Beschleunigungen aus dem Stand«. Warum dann andere Hersteller auch bei Fahrzeugen, die besser beschleunigen, ohne Zweiganggetriebe auskommen, wird wohl ein Geheimnis bleiben.

### 5.3.2 Konstruktion und Funktion von Reduktionsgetrieben

Das Reduktionsgetriebe in einem Elektrofahrzeug ist als *1-Gang-Getriebe* mit fester Übersetzung ausgeführt. Es ist einfacher aufgebaut als ein Schaltgetriebe und besteht meist aus einem Stirnradgetriebe mit zwei bis drei Zahnradsätzen oder einem Planetengetriebe.

Stirnradgetriebe verwenden Zahnräder in Reihe, um die gewünschte Untersetzung zu erreichen. Diese Bauart ist kostengünstig, robust und wartungsarm. Das kleine Antriebsritzel am Motor treibt ein größeres Zwischenrad an, das wiederum ein noch größeres Antriebsrad bewegt. Jede Stufe multipliziert das Drehmoment und reduziert die Drehzahl.

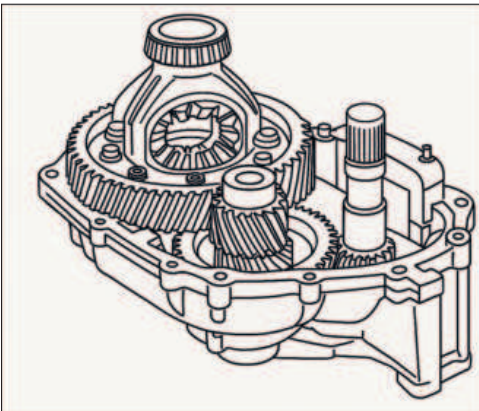


Abbildung 5.3: Ein Gang reicht: schematische Darstellung eines 1-Gang-Getriebes.

Planetengetriebe nutzen ein zentrales Sonnenrad, mehrere Planetenräder und einen äußeren Zahnkranz. Diese Bauweise ist kompakter und läuft ruhiger, kostet aber mehr. Viele Premium-Elektrofahrzeuge setzen auf Planetengetriebe, da sie weniger Vibrationen übertragen und leiser arbeiten.

### Die Besonderheit der Rückwärtsfahrt

Bei Verbrennungsmotoren benötigt die Rückwärtsfahrt einen separaten Gang im Getriebe, da der Motor nur in eine Richtung drehen kann. Elektromotoren können ihre Drehrichtung elektronisch umkehren – ein simpler Softwarebefehl vertauscht die Phasenfolge im Wechselrichter.

Diese Eigenschaft vereinfacht das Getriebe erheblich. Es braucht keine mechanischen Komponenten für den Rückwärtsgang, keine Synchronringe oder Kupplungen. Das spart Gewicht, Bauraum und Kosten. Gleichzeitig kann das Fahrzeug rückwärts genauso schnell fahren wie vorwärts, was in der Realität allerdings aus Sicherheitsgründen elektronisch begrenzt wird.

### 5.3.3 Sonderfälle: Mehrganggetriebe bei Elektrofahrzeugen

Obwohl die meisten Elektrofahrzeuge mit einem Gang auskommen, experimentieren einige Hersteller mit Mehrganggetrieben. Die Logik dahinter: Im ersten Gang hat der Motor maximales Drehmoment für starke Beschleunigung. Der zweite Gang reduziert die Motordrehzahl bei hohen Geschwindigkeiten und verbessert so die Effizienz. Bei 200 km/h würde ein Eingang-Getriebe den Motor an seine Drehzahlgrenze bringen, während ein zweiter Gang noch Reserven lässt.

Die Vorteile sind jedoch umstritten: Das zusätzliche Getriebe bringt Gewicht, Komplexität und Kosten mit sich. Die Effizienzgewinne bei hohen Geschwindigkeiten müssen diese Nachteile rechtfertigen, und irgendwie scheinen wenige Hersteller von diesem Effizienzgewinn überzeugt zu sein, weil ein komplexeres Getriebe auch gleichzeitig wieder zu einem bauartbedingten Effizienzverlust führt. Bisher setzt also kaum ein Hersteller auf Mehrganggetriebe – der Trend geht eindeutig zur Einfachheit.

### 5.3.4 Integrierte Bauweise und Packaging

Moderne Elektrofahrzeuge integrieren Motor, Getriebe und Wechselrichter oft in einer kompakten Einheit. Diese *Drive Unit* lässt sich als Modul fertigen und einfach ins Fahrzeug einbauen. Die Integration spart Bauraum und reduziert die Anzahl der Schnittstellen.

Bei einem Vorderradantrieb sitzt die Drive Unit meist quer zur Fahrtrichtung zwischen den Vorderrädern. Antriebswellen verbinden das Getriebe mit den Rädern, ähnlich wie bei frontgetriebenen Verbrennern. Bei einem Heckantrieb kann die Unit längs oder quer montiert werden, je nach Fahrzeuglayout.

Die Kühlung der Drive Unit erfolgt meist über das Thermalmanagement-System des Fahrzeugs. Motor, Getriebe und Wechselrichter teilen sich einen Kühlkreislauf, was die Komplexität reduziert.

### 5.3.5 Schmierung und Wartung

Reduktionsgetriebe in Elektrofahrzeugen benötigen deutlich weniger Wartung als Schaltgetriebe in Verbrennern. Sie arbeiten immer im optimalen Drehzahlbereich, ohne Schalt-

vorgänge oder Kupplungsverschleiß. Das Getriebeöl altert langsamer, da es keinen Verbrennungsrückständen ausgesetzt ist.

Viele Hersteller versprechen wartungsfreie Getriebe über die gesamte Fahrzeuglebensdauer. Das Öl ist oft für die ganze Lebensdauer befüllt und muss theoretisch nie gewechselt werden. In der Praxis empfehlen einige Werkstätten dennoch gelegentliche Ölwechsel nach 100.000 bis 200.000 km, besonders bei intensiver Nutzung.

Auch die Lagerung der Getriebezahnäder ist auf lange Lebensdauer ausgelegt. Da keine Schaltvorgänge stattfinden, entstehen weniger Verschleiß und Abrieb. Die konstante Belastung ist für die Zahnäder weniger schädlich als die wechselnden Kräfte in Schaltgetrieben.

### 5.3.6 Akustik und NVH-Optimierung

Elektromotoren und ihre Getriebe erzeugen charakteristische Geräusche, die sich von Verbrennungsmotoren unterscheiden. Das hochfrequente Surren des Motors und das Zahnradgeräusch des Getriebes sind oft deutlich hörbar, da keine Verbrennungsgeräusche, diese ständigen Explosionen des Dinosafes, sie überdecken.

#### **Noise, Vibration, Harshness (NVH)**

NVH ist ein Begriff aus der Fahrzeug- und Maschinenentwicklung zur Beschreibung und Bewertung von Geräuschen (Noise), Schwingungen (Vibration) und Rauigkeit bzw. Unkomfort (Harshness), die von einem Produkt ausgehen und das Komfort- und Qualitätsempfinden beeinflussen.

Die Optimierung der Akustik wird daher immer wichtiger. Hersteller verwenden spezielle Verzahnungsgeometrien, um Geräusche zu reduzieren. Schrägverzahnungen laufen ruhiger als Geradverzahnungen, kosten aber mehr. Hochwertige Lagerungen und Dämpfungsmaßnahmen reduzieren die Übertragung von Vibrationen in die Karosserie.

Einige Fahrzeuge verwenden künstliche Geräusche, um das charakteristische E-Motor-Surren zu überdecken. Andere Hersteller arbeiten daran, das natürliche Motorgeräusch angenehmer zu gestalten, damit es sportlich und hochwertig klingt, nicht störend oder billig. Allerdings sind meiner Meinung nach diese Tongeneratoren, die in manchen E-Auto-Sportwagen verbaut werden, einfach nur peinlich.

### 5.3.7 Zukünftige Entwicklungen

Die Getriebetechnik für Elektrofahrzeuge entwickelt sich also weiter, auch wenn die Grundprinzipien die gleichen bleiben. Neue Materialien ermöglichen leichtere und effizientere Getriebe. Spezielle Beschichtungen reduzieren Reibung und Verschleiß. Einige Hersteller experimentieren auch mit stufenlosen Getrieben (CVT, Continuously Variable Transmission) für Elektrofahrzeuge, um die Effizienz weiter zu optimieren. Andere untersuchen

Mehrmotorensysteme, bei denen verschiedene Motoren für verschiedene Geschwindigkeitsbereiche zuständig sind, also eine Art »elektronisches Getriebe«. Die Zukunft wird zeigen, was sinnvoll ist und sich durchsetzen kann.

## 5.4 Thermalmanagement und Wärmepumpe

Das *Thermalmanagement* in Elektrofahrzeugen erfüllt mehrere kritische Funktionen: Es kühlt die Batterie und Leistungselektronik, temperiert den Innenraum und optimiert die Systemleistung. Anders als bei Verbrennungsmotoren steht somit keine »kostenlose« Abwärme für die Heizung zur Verfügung – diese Wärme muss gezielt erzeugt oder durch intelligente Systeme bereitgestellt werden.

Wir werden in Kapitel 6 das Thermalmanagement und das Batterie-Management-System jeweils noch einmal im Verbund mit den anderen Systemen im E-Auto betrachten, aber hier möchte ich Ihnen zuerst eine isolierte Beschreibung der Funktionsweise geben, damit Sie die Hauptfunktionen dieser Systeme besser verstehen. Ein paar Dinge werden Ihnen schon bekannt vorkommen, andere sind neu. Wir gehen vom Einfachen zum Komplizierten, ich bitte um Geduld.

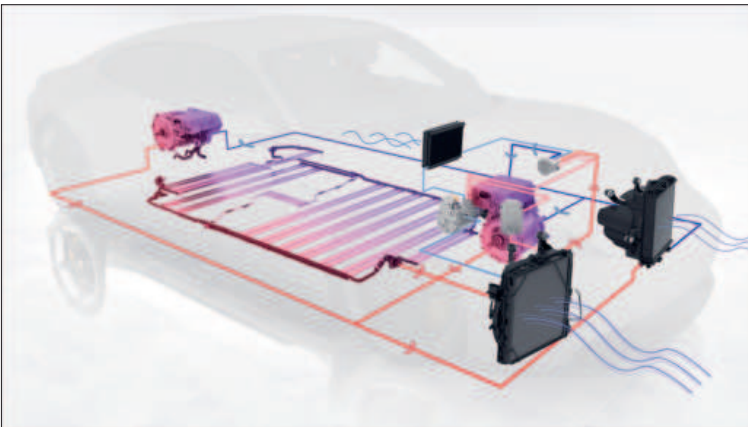


Abbildung 5.4: Prinzipdarstellung der Kühlkreisläufe des Thermalmanagements in einem E-Auto

### 5.4.1 Die Herausforderungen der Temperaturkontrolle

Lithium-Ionen-Batterien werden vom Thermalmanagement in einem optimalen Temperaturbereich gehalten. Außerhalb dieses Bereichs sinkt die verfügbare Leistung und die Lebensdauer der Zellen wird verringert.

Die *Leistungselektronik* – Wechselrichter, DC/DC-Wandler und Ladeelektronik – erzeugt erhebliche Verlustwärme, besonders bei hohen Leistungen. Ein 300-kW-Schnellladungsvor-

# Inhalt

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Einleitung: Warum dieses Buch? ..... | 15 |
|--------------------------------------|----|

## TEIL I Grundlagen der Elektromobilität

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Kapitel 1 Mythen und Fakten rund um E-Autos</b> | <b>21</b> |
|----------------------------------------------------|-----------|

|     |                                                                      |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | E-Autos schaden der Umwelt – Wahrheit und Legende .....              | 21 |
| 1.2 | Unzuverlässigkeit und Reparaturprobleme – was stimmt wirklich? ..... | 23 |
| 1.3 | Brandgefahr bei E-Autos: Fakten statt Panikmache .....               | 23 |
| 1.4 | Stromnetz-Kollaps durch E-Autos .....                                | 24 |
| 1.5 | Mehr Feinstaub durch E-Autos .....                                   | 25 |
| 1.6 | »Hybrids are winning!« – die Realität hinter den Schlagzeilen .....  | 25 |
| 1.7 | Das Problem mit der Reichweite: berechtigt oder übertrieben? .....   | 26 |
| 1.8 | Mit dem Verbrenner war alles einfacher! .....                        | 27 |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Kapitel 2 Laden leicht gemacht – Ihre ersten Schritte</b> | <b>33</b> |
|--------------------------------------------------------------|-----------|

|       |                                                |    |
|-------|------------------------------------------------|----|
| 2.1   | Ladesäulen finden und bedienen .....           | 33 |
| 2.2   | Bezahlung und Abrechnung einfach erklärt ..... | 37 |
| 2.3   | Ladekarten, Apps und Plug & Charge .....       | 38 |
| 2.4   | Ad-hoc-Laden .....                             | 38 |
| 2.4.1 | Die Verbrenner-Mentalität .....                | 39 |
| 2.4.2 | Die Realität im E-Auto-Alltag .....            | 40 |
| 2.5   | Ihre erste Ladung – Schritt für Schritt .....  | 40 |
| 2.6   | Ladeetikette und typische Anfängerfehler ..... | 42 |
| 2.7   | Was tun bei Problemen an der Ladesäule? .....  | 43 |

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Kapitel 3 Von der Verbrennung zum Elektromotor</b> | <b>45</b> |
|-------------------------------------------------------|-----------|

|       |                                                                               |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Verschiedene Antriebsarten im Vergleich (BEV, PHEV, FCEV) .....               | 47 |
| 3.1.1 | Das reine Elektroauto (BEV – Battery Electric Vehicle) .....                  | 47 |
| 3.1.2 | Der Plug-in-Hybrid (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle) .....             | 47 |
| 3.1.3 | Das Wasserstoffauto (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle) .....                 | 48 |
| 3.1.4 | Welche Antriebsart passt zu Ihnen? .....                                      | 49 |
| 3.2   | Elektromobilität im Vergleich zu Wasserstoffantrieb und Biotreibstoffen ..... | 50 |

|       |                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1 | Biotreibstoffe .....                                  | 50 |
| 3.2.2 | Wasserstoff .....                                     | 50 |
| 3.2.3 | E-Fuels .....                                         | 51 |
| 3.2.4 | Wo diese Alternativen eingesetzt werden könnten ..... | 51 |
| 3.2.5 | Die Effizienz entscheidet .....                       | 52 |
| 3.3   | Effizienzvorteile der Elektromobilität .....          | 53 |

## **Kapitel 4 Die Batterie – das Herzstück des Elektroautos** **57**

|       |                                                            |    |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Batterietechnologien und ihre Eigenschaften .....          | 58 |
| 4.1.1 | NCA- und NMC-Batterien: Die Reichweiten-Champions .....    | 58 |
| 4.1.2 | LFP-Batterien: Der aufstrebende Favorit .....              | 59 |
| 4.2   | Energiedichte und Reichweite .....                         | 59 |
| 4.3   | Lebensdauer und Alterung .....                             | 61 |
| 4.3.1 | Das Batterie-Management-System macht den Unterschied ..... | 61 |
| 4.3.2 | Eine clevere Ladestrategie schützt die Batterie .....      | 61 |
| 4.3.3 | Aktuelle Studienergebnisse zur Lebensdauer .....           | 61 |
| 4.4   | Batterietypen von heute und morgen .....                   | 62 |
| 4.4.1 | 4680-Zellen: Teslas nächste Generation .....               | 62 |
| 4.4.2 | Festkörperbatterien: Der große Hoffnungsträger .....       | 62 |
| 4.5   | Lohnt sich das Warten auf die Wunderbatterie? .....        | 63 |
| 4.6   | Recycling und Rohstoffgewinnung .....                      | 63 |
| 4.6.1 | Aktuelle Recyclingverfahren .....                          | 64 |
| 4.6.2 | Neue Gesetzgebung treibt das Recycling voran .....         | 64 |
| 4.6.3 | Die Rohstoff-Herausforderung .....                         | 64 |
| 4.6.4 | Wirtschaftliche Aspekte des Recyclings .....               | 65 |

## **TEIL II Technik im Detail**

### **Kapitel 5 Antriebstechnik** **69**

|       |                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------|----|
| 5.1   | Motortypen und Leistungsklassen .....                 | 69 |
| 5.1.1 | Warum E-Autos oft hohe Leistungswerte haben .....     | 69 |
| 5.1.2 | Die zentrale Rolle der Batterie .....                 | 70 |
| 5.1.3 | Motortypen im technischen Detail .....                | 71 |
| 5.1.4 | Leistungsklassen und ihre Batterieanforderungen ..... | 71 |
| 5.1.5 | Direkter Einfluss auf die Ladetechnik .....           | 72 |
| 5.1.6 | Die Batterie als systemisches Bindeglied .....        | 72 |
| 5.1.7 | Wechselwirkungen im Gesamtsystem .....                | 73 |
| 5.2   | Ein-, Zwei- und Mehrmotorenkonzepte .....             | 73 |

|       |                                                                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.1 | Einmotorenkonzepte – klassisch und effizient .....                                                 | 73 |
| 5.2.2 | Zweimotorenkonzepte – Allrad mit Intelligenz .....                                                 | 74 |
| 5.2.3 | Drei- und Mehrmotorenkonzepte – maximale Performance .....                                         | 74 |
| 5.2.4 | Radnabenantriebe – Zukunftstechnologie mit Hürden .....                                            | 75 |
| 5.2.5 | Antriebssteuerung und Systemintegration .....                                                      | 75 |
| 5.2.6 | Herstellerspezifische Ansätze .....                                                                | 76 |
| 5.3   | Getriebe bei Elektrofahrzeugen .....                                                               | 76 |
| 5.3.1 | Warum Elektromotoren meist ohne Schaltgetriebe auskommen .....                                     | 76 |
| 5.3.2 | Konstruktion und Funktion von Reduktionsgetrieben .....                                            | 77 |
| 5.3.3 | Sonderfälle: Mehrganggetriebe bei Elektrofahrzeugen .....                                          | 78 |
| 5.3.4 | Integrierte Bauweise und Packaging .....                                                           | 78 |
| 5.3.5 | Schmierung und Wartung .....                                                                       | 78 |
| 5.3.6 | Akustik und NVH-Optimierung .....                                                                  | 79 |
| 5.3.7 | Zukünftige Entwicklungen .....                                                                     | 79 |
| 5.4   | Thermalmanagement und Wärmepumpe .....                                                             | 80 |
| 5.4.1 | Die Herausforderungen der Temperaturkontrolle .....                                                | 80 |
| 5.4.2 | Kühlsysteme für Batterie und Leistungselektronik .....                                             | 81 |
| 5.4.3 | Wärmepumpentechnologie – Effizienz durch Physik .....                                              | 81 |
| 5.4.4 | Multiquellen-Wärmequellen für maximale Effizienz .....                                             | 82 |
| 5.4.5 | Thermisches Preconditioning – Vorbereitung ist alles .....                                         | 82 |
| 5.4.6 | Rapidgate und Coldgate – die Grenzen der Physik .....                                              | 82 |
| 5.4.7 | Zukunftsmusik: Effizienzoptimierung durch intelligente Steuerung<br>und weitere Innovationen ..... | 83 |
| 5.5   | Angemessener Verbrauch in kWh/100 km .....                                                         | 84 |
| 5.5.1 | Was gilt als sparsamer Verbrauch? .....                                                            | 85 |
| 5.5.2 | Faktoren, die den Verbrauch beeinflussen .....                                                     | 86 |
| 5.5.3 | Klimatisierung als Verbrauchsfaktor .....                                                          | 86 |
| 5.5.4 | Realverbrauch vs. Normverbrauch .....                                                              | 87 |
| 5.6   | E-Autos im Nahverkehr .....                                                                        | 88 |
| 5.6.1 | Die Kaltstartphase bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor .....                                  | 89 |
| 5.6.2 | Die Kaltstartphase bei einem E-Auto .....                                                          | 89 |
| 5.6.3 | Die Kaltstartphase bei Hybrid-Fahrzeugen .....                                                     | 89 |
| 5.7   | 400 V vs. 800 V und neue 1-kV-Systeme .....                                                        | 90 |
| 5.7.1 | Die Physik hinter den Spannungsebenen .....                                                        | 91 |
| 5.7.2 | Vorteile von 800-V-Systemen .....                                                                  | 91 |
| 5.7.3 | Die 400-V-Realität und ihre Berechtigung .....                                                     | 91 |
| 5.7.4 | Herausforderungen der 800-V-Technologie .....                                                      | 92 |
| 5.7.5 | Technische Umsetzung von 800-V-Systemen .....                                                      | 92 |
| 5.7.6 | 1000-V-Systeme: Der nächste Evolutionsschritt .....                                                | 93 |
| 5.7.7 | Systemkompatibilität und Übergangstechnologien .....                                               | 93 |
| 5.7.8 | Marktausblick und Herstellerstrategien .....                                                       | 94 |

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Kapitel 6 Das Batterie-Management-System (BMS) und das Thermalmanagement</b> | <b>95</b>  |
| 6.1 Warum die Temperaturkontrolle bei Elektroautos so wichtig ist .....         | 95         |
| 6.2 Das Batterie-Management-System – die Schaltzentrale der Batterie .....      | 96         |
| 6.2.1 Zellüberwachung auf drei Ebenen .....                                     | 96         |
| 6.2.2 Cell Balancing sorgt für ausgeglichene Zellen .....                       | 97         |
| 6.2.3 State of Charge und State of Health .....                                 | 97         |
| 6.2.4 Sicherheitsstrategien mit mehrfacher Redundanz .....                      | 98         |
| 6.3 Thermalmanagement-Systeme im Detail .....                                   | 98         |
| 6.3.1 Flüssigkeitsgekühlte Systeme – der Standard bei modernen E-Autos ...      | 98         |
| 6.3.2 Temperatursensoren – die Augen des Systems .....                          | 99         |
| 6.3.3 Wärmepumpen – Effizienz durch clevere Physik .....                        | 99         |
| 6.4 Das Zusammenspiel – wie BMS und Thermalmanagement kooperieren .....         | 100        |
| 6.4.1 Der Regelkreis in Echtzeit .....                                          | 100        |
| 6.4.2 Schnellladen und Thermalmanagement – ein kritischer Tanz .....            | 100        |
| 6.5 Praxisbeispiele – was passiert wirklich? .....                              | 101        |
| 6.5.1 Ein Wintermorgen bei -10°C .....                                          | 101        |
| 6.5.2 Sommerliche Autobahn bei 35°C Außentemperatur .....                       | 101        |
| 6.5.3 Rapidgate – mehrfaches Schnellladen hintereinander .....                  | 102        |
| 6.5.4 Coldgate im Winter .....                                                  | 102        |
| 6.6 Unterschiede zwischen Herstellern .....                                     | 102        |
| <b>Kapitel 7 Ladetechnik und -infrastruktur</b>                                 | <b>105</b> |
| 7.1 Ladestandards und Steckertypen (CCS, Typ2 usw.) .....                       | 105        |
| 7.2 AC- und DC-Laden im Vergleich .....                                         | 107        |
| 7.3 Schnellladetechnologien .....                                               | 109        |
| 7.4 Das öffentliche Ladenetz in Deutschland und Europa .....                    | 109        |
| 7.5 Payment und Abrechnung an Ladesäulen .....                                  | 111        |
| 7.6 Plug & Charge vs. Ad-hoc-Laden .....                                        | 111        |
| <b>Kapitel 8 Intelligente Systeme</b>                                           | <b>113</b> |
| 8.1 Vernetzung und Software-Updates .....                                       | 113        |
| 8.2 Autonomes Fahren und Assistenzsysteme .....                                 | 115        |
| 8.3 Sensoren .....                                                              | 116        |

## TEIL III Kaufberatung

### Kapitel 9 Marktüberblick nach Fahrzeugklassen 119

|       |                                                                   |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1   | Vollelektrisch oder Hybrid? .....                                 | 119 |
| 9.1.1 | China: Hybride sind dort E-Autos mit Notfall-Motor .....          | 121 |
| 9.1.2 | USA: Infrastruktur-Angst treibt die Verkäufe .....                | 121 |
| 9.1.3 | Nordeuropa: E-Autos dominieren .....                              | 121 |
| 9.1.4 | Deutschland und Frankreich: Förder-Ende und Rezession bremsen ... | 122 |
| 9.1.5 | Europa in der Rezession: Alle Hersteller leiden .....             | 122 |
| 9.1.6 | Das Gesamtbild: Infrastruktur schlägt Technologie .....           | 123 |
| 9.1.7 | Das Gedankenexperiment: Wenn die Infrastruktur anders wäre .....  | 123 |
| 9.2   | Kleinwagen .....                                                  | 124 |
| 9.3   | Limousinen und Kombis .....                                       | 124 |
| 9.4   | SUVs und Crossover .....                                          | 125 |
| 9.5   | Transporter .....                                                 | 126 |
| 9.6   | Vor- und Nachteile verschiedener Bauformen .....                  | 128 |
| 9.7   | Welches Auto passt zu meinem Nutzungsprofil? .....                | 129 |
| 9.7.1 | Entscheidungshilfe: Welches Profil passt zu mir? .....            | 130 |

### Kapitel 10 Das richtige E-Auto für Ihren Bedarf 131

|        |                                                                                           |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1   | Ihr Weg zum richtigen E-Auto .....                                                        | 131 |
| 10.1.1 | Der Stadt-Pendler: kompakt, effizient, günstig .....                                      | 132 |
| 10.1.2 | Die junge Familie: Platz, Sicherheit, Alltagstauglichkeit .....                           | 134 |
| 10.1.3 | Großfamilie und Hundebesitzer: maximaler Raum .....                                       | 136 |
| 10.1.4 | Der Vielfahrer: Autobahn-Longstrecke .....                                                | 138 |
| 10.1.5 | Der Handwerker: Transporter für den Alltag .....                                          | 140 |
| 10.1.6 | Der Budget-Bewusste: Gebrauchtwagen-Einstieg .....                                        | 141 |
| 10.1.7 | Der Technik-Enthusiast: Cutting Edge .....                                                | 142 |
| 10.1.8 | Aufgeschlossen für Exoten: chinesische Hersteller als Chance für<br>Budget-Bewusste ..... | 144 |

### Kapitel 11 Der Neuwagenkauf 147

|      |                                           |     |
|------|-------------------------------------------|-----|
| 11.1 | Vorüberlegungen zum Kauf .....            | 147 |
| 11.2 | Wichtige Kaufkriterien im Überblick ..... | 148 |
| 11.3 | Probefahrt .....                          | 148 |
| 11.4 | Garantieleistungen .....                  | 149 |
| 11.5 | Versicherungskosten .....                 | 149 |
| 11.6 | Laufende Kosten .....                     | 150 |

## **Kapitel 12 Der Gebrauchtwagenkauf 153**

|        |                                                                      |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.1   | Gewährleistung und Garantie bei Gebrauchten .....                    | 153 |
| 12.1.1 | Batteriezustand und Dokumentation .....                              | 153 |
| 12.1.2 | Preisverhandlung und Finanzierung .....                              | 154 |
| 12.1.3 | Rückgaberecht und Widerruf .....                                     | 155 |
| 12.1.4 | Unfälle und Vorschäden .....                                         | 155 |
| 12.2   | Wichtige Kaufkriterien im Überblick .....                            | 155 |
| 12.3   | Probefahrt und Fahrzeugcheck .....                                   | 158 |
| 12.3.1 | Der Innenraum und das Entertainment-System .....                     | 158 |
| 12.3.2 | Das Fahrwerk und der Unterboden .....                                | 159 |
| 12.3.3 | Der Motor und das Getriebe .....                                     | 160 |
| 12.4   | Die Traktionsbatterie überprüfen .....                               | 161 |
| 12.4.1 | Diagnose und Fehlerspeicher auslesen mithilfe von Dongle und App ... | 163 |

## **Kapitel 13 Kosten und Wirtschaftlichkeit 165**

|        |                                                                       |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.1   | Anschaffungskosten .....                                              | 165 |
| 13.1.1 | Die aktuelle Preislandschaft .....                                    | 165 |
| 13.2   | Staatliche Förderung und steuerliche Vorteile .....                   | 166 |
| 13.2.1 | Steuerliche Vorteile und Dienstwagen-Privileg für Elektroautos .....  | 166 |
| 13.2.2 | Förderprogramme für Privatpersonen .....                              | 166 |
| 13.2.3 | Staatliche Förderung auch für gebrauchte E-Autos? .....               | 168 |
| 13.3   | Laufende Kosten: Strom, Wartung, Versicherung .....                   | 169 |
| 13.3.1 | Reduzierte Wartungskosten .....                                       | 169 |
| 13.3.2 | Besonderheiten beim Versicherungsschutz (Batterie, Brandfall) .....   | 171 |
| 13.3.3 | Erweiterte Versicherungsleistungen für E-Auto-spezifische Risiken ... | 172 |
| 13.4   | Wertentwicklung und Wiederverkaufswert .....                          | 172 |
| 13.4.1 | Faktoren der Wertstabilität .....                                     | 173 |
| 13.5   | Kostenvergleich mit Verbrennerfahrzeugen .....                        | 173 |
| 13.5.1 | Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Gesamtkostenbetrachtung .....      | 174 |
| 13.5.2 | Aktuelle Marktvergleiche .....                                        | 174 |

## **TEIL IV Praxis und Alltag**

### **Kapitel 14 Effizientes Fahren 177**

|      |                                                     |     |
|------|-----------------------------------------------------|-----|
| 14.1 | Sparsames Fahren steigert die Reichweite .....      | 177 |
| 14.2 | Fahrstil und Effizienz .....                        | 178 |
| 14.3 | Umstellung von Gewohnheiten und der Fahrweise ..... | 179 |

|        |                                               |     |
|--------|-----------------------------------------------|-----|
| 14.3.1 | One-Pedal-Driving .....                       | 179 |
| 14.3.2 | Abstand halten statt dicht auffahren .....    | 180 |
| 14.3.3 | Vorausschauende Fahrweise entwickeln .....    | 181 |
| 14.3.4 | Der Reifendruck macht einen Unterschied ..... | 181 |
| 14.4   | Die alltäglichen Basics .....                 | 182 |

## **Kapitel 15 Batterie-Management und Pflege** **185**

|        |                                                              |     |
|--------|--------------------------------------------------------------|-----|
| 15.1   | Wie Sie für eine lange Lebensdauer der Batterie sorgen ..... | 185 |
| 15.1.1 | Optimaler Ladestand bei Nichtbenutzung .....                 | 185 |
| 15.1.2 | Warum entlädt sich die Batterie während des Parkens? .....   | 187 |
| 15.1.3 | Batterieschonend laden .....                                 | 187 |
| 15.2   | Winterbetrieb und Wintermodus .....                          | 189 |
| 15.3   | Besonderheiten der Elektroautowartung .....                  | 190 |
| 15.4   | Typische Verschleißteile .....                               | 192 |
| 15.5   | Brand bei Elektroautos – was Sie wissen sollten .....        | 193 |
| 15.5.1 | Warum E-Auto-Brände anders sind .....                        | 194 |
| 15.5.2 | Wie die Feuerwehr E-Autos löscht .....                       | 194 |
| 15.5.3 | Die Sicherheitssysteme moderner E-Autos .....                | 195 |
| 15.5.4 | Was bedeutet das für Sie als Fahrer? .....                   | 196 |
| 15.5.5 | Tiefgaragen und Parkhäuser sind sicher .....                 | 196 |
| 15.5.6 | Ausblick: Die Technik wird besser .....                      | 198 |

## **Kapitel 16 Das Elektroauto im Alltag** **199**

|        |                                                               |     |
|--------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 16.1   | Reichweitenplanung und -optimierung .....                     | 200 |
| 16.2   | Was tun, wenn der Saft auszugehen droht? .....                | 201 |
| 16.3   | Wenn Sie wirklich einmal liegen bleiben .....                 | 202 |
| 16.3.1 | Was passiert, wenn die Fahrbatterie wirklich leer wird? ..... | 203 |
| 16.3.2 | Hilfe im Notfall .....                                        | 203 |
| 16.3.3 | Die 12-Volt-Batterie – der wahre Schwachpunkt .....           | 205 |
| 16.3.4 | So vermeiden Sie Pannen .....                                 | 205 |
| 16.4   | Laden unterwegs und Ladestrategien .....                      | 206 |
| 16.5   | Reisen mit dem Elektroauto (ins Ausland) .....                | 207 |

## **Kapitel 17 Ladekarten, Netze und Roaming** **209**

|      |                                     |     |
|------|-------------------------------------|-----|
| 17.1 | Wie Ladenetze funktionieren .....   | 209 |
| 17.2 | Ladekarten-Vergleich .....          | 210 |
| 17.3 | Wann lohnt sich welche Karte? ..... | 212 |
| 17.4 | Roaming-Kosten verstehen .....      | 213 |
| 17.5 | Laden in Europa: Länder-Guide ..... | 214 |
| 17.6 | Praktische Reisetipps .....         | 216 |

## **Kapitel 18 Die eigene Ladeinfrastruktur 219**

|      |                                                                |     |
|------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 18.1 | Wallbox-Varianten und ihre Funktionen .....                    | 219 |
| 18.2 | Smart vs. einfache Wallboxen – was braucht man wirklich? ..... | 220 |
| 18.3 | Installation, Kosten und Förderung .....                       | 221 |
| 18.4 | Anschluss der Wallbox ans Hausnetz .....                       | 222 |
| 18.5 | Meldepflicht beim Netzbetreiber .....                          | 223 |
| 18.6 | Die 3,6-kW-Wallbox .....                                       | 224 |
| 18.7 | Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle in Wallboxen ..... | 225 |
| 18.8 | Sicherheit beim Laden (Gewitter, Überspannung) .....           | 226 |

## **Kapitel 19 Ihr Elektroauto und erneuerbare Energien 229**

|        |                                                                      |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.1   | Kopplung von Wallbox mit PV-Anlage .....                             | 229 |
| 19.2   | Integration mit Heimspeichersystemen .....                           | 230 |
| 19.2.1 | Intelligente Energieflüsse .....                                     | 231 |
| 19.2.2 | Notstromfunktion und Langlebigkeit .....                             | 231 |
| 19.3   | Wirtschaftlichkeitsberechnung der Kombination .....                  | 232 |
| 19.3.1 | Investitionskosten im Überblick .....                                | 232 |
| 19.3.2 | Einsparungen und Amortisation .....                                  | 232 |
| 19.3.3 | Förderungen und steuerliche Vorteile .....                           | 233 |
| 19.3.4 | Variable Stromtarife als zusätzlicher Hebel .....                    | 233 |
| 19.4   | Technische Voraussetzungen und Steuerungsoptionen .....              | 233 |
| 19.4.1 | Energie-Management und Hausanschluss .....                           | 234 |
| 19.4.2 | Smart Meter und variable Tarife .....                                | 234 |
| 19.4.3 | Notstromfunktion .....                                               | 234 |
| 19.4.4 | Cloud- vs. lokale Steuerung .....                                    | 234 |
| 19.5   | Bidirektionales Laden (V2H, V2G, V2V) .....                          | 235 |
| 19.5.1 | Technische Anforderungen und Kosten .....                            | 235 |
| 19.5.2 | Regulatorische Situation .....                                       | 235 |
| 19.6   | Ihr Auto als Stromspeicher für Ihr Haus .....                        | 236 |
| 19.6.1 | Funktionsprinzip und praktische Anwendungen .....                    | 236 |
| 19.7   | Vor- und Nachteile verschiedener Setups .....                        | 236 |
| 19.8   | Das Stromnetz und die Elektromobilität .....                         | 237 |
| 19.8.1 | Die Ausgangslage: Wie viel Strom brauchen Elektroautos wirklich? ... | 238 |
| 19.8.2 | Die E.on-Studie: Frühzeitige Entwarnung .....                        | 238 |
| 19.8.3 | Die Praxis: Erkenntnisse aus Feldversuchen .....                     | 238 |
| 19.8.4 | Die Infrastruktur: Rasanter Ausbau der Lademöglichkeiten .....       | 239 |
| 19.8.5 | Die Technik: Intelligente Netze als Lösung .....                     | 239 |
| 19.8.6 | Die Kosten: Positive Effekte für Strompreise .....                   | 240 |
| 19.8.7 | Fazit: Keine Gefahr für das Stromnetz .....                          | 240 |

## **Kapitel 20 Die Nachteile eines E-Autos 241**

|        |                                                                |     |
|--------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 20.1   | Die echten Nachteile .....                                     | 241 |
| 20.1.1 | Der höhere Anschaffungspreis .....                             | 241 |
| 20.1.2 | Der Anhängerbetrieb ist wirklich problematisch .....           | 242 |
| 20.1.3 | Langstrecken brauchen Planung, Spontanität ist schwierig ..... | 242 |
| 20.1.4 | Extrembedingungen addieren sich .....                          | 243 |
| 20.1.5 | Begrenzte Modellauswahl in Nischen .....                       | 243 |
| 20.2   | Die vermeintlichen Nachteile .....                             | 244 |
| 20.2.1 | Laden dauert viel länger als Tanken .....                      | 244 |
| 20.2.2 | Die 12-Volt-Batterie ist ein Schwachpunkt .....                | 244 |
| 20.2.3 | Höheres Gewicht belastet die Reifen .....                      | 244 |
| 20.2.4 | Die Abhängigkeit von der Software ist gefährlich .....         | 244 |
| 20.2.5 | Der Wertverlust ist höher .....                                | 245 |
| 20.2.6 | Batteriedegradation ist ein Problem .....                      | 245 |

## **Kapitel 21 Ökobilanz und ethische Aspekte 247**

|        |                                                                                                      |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.1   | CO <sub>2</sub> -Bilanz im Lebenszyklus .....                                                        | 247 |
| 21.1.1 | Aktuelle Studienlage .....                                                                           | 247 |
| 21.1.2 | Die Herstellung .....                                                                                | 248 |
| 21.1.3 | Die Nutzungsphase .....                                                                              | 248 |
| 21.1.4 | Nicht in den Studien berücksichtigt: ein wichtiger Faktor zu<br>Fahrzeuggröße und Platzangebot ..... | 248 |
| 21.2   | Die Herstellungsemissionen: Was wird wirklich berücksichtigt? .....                                  | 249 |
| 21.3   | Stromproduktion und Erneuerbaren-Mix .....                                                           | 250 |
| 21.4   | Ressourcenverbrauch und kritische Rohstoffe .....                                                    | 251 |
| 21.5   | Umweltauswirkungen beim Rohstoffabbau .....                                                          | 251 |
| 21.6   | Soziale und ethische Aspekte der Rohstoffgewinnung .....                                             | 252 |
| 21.6.1 | Kobaltgewinnung im Kongo .....                                                                       | 252 |
| 21.6.2 | Lithiumgewinnung in Chile .....                                                                      | 252 |
| 21.6.3 | Die Umweltbilanz der Lithiumgewinnung .....                                                          | 253 |
| 21.6.4 | Lieferkettentransparenz und Zertifizierungen .....                                                   | 254 |
| 21.6.5 | Entwicklungen zu faireren Rohstoffen .....                                                           | 254 |
| 21.6.6 | Ein Vergleich mit den Umweltauswirkungen der konventionellen<br>Autoherstellung .....                | 255 |
| 21.7   | Der Rebound-Effekt und die Mobilitätswende .....                                                     | 255 |

## **Kapitel 22 Die Zukunft der Elektromobilität 257**

|      |                                                                    |     |
|------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 22.1 | Kommende Batterietechnologien mit reduziertem Rohstoffbedarf ..... | 257 |
| 22.2 | Entwicklung der Ladeinfrastruktur .....                            | 257 |
| 22.3 | Recycling und Kreislaufwirtschaft .....                            | 258 |

|      |                                                     |     |
|------|-----------------------------------------------------|-----|
| 22.4 | Integration ins Stromnetz .....                     | 258 |
| 22.5 | Politische und gesellschaftliche Perspektiven ..... | 259 |

---

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| <b>Kapitel 23 Gestern, heute, morgen</b> | <b>261</b> |
|------------------------------------------|------------|

---

|        |                                                                  |     |
|--------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 23.1   | Die Zahlen: Eine stille Verschiebung .....                       | 262 |
| 23.2   | Die Informationslücke: Was Sie nicht erfahren sollen .....       | 262 |
| 23.2.1 | Drei Märkte, drei Realitäten .....                               | 263 |
| 23.2.2 | Was das für Sie bedeutet .....                                   | 264 |
| 23.3   | Technologie im Praxistest: Was heute möglich ist .....           | 264 |
| 23.3.1 | Software und Updates .....                                       | 264 |
| 23.3.2 | Integration und Alltag .....                                     | 265 |
| 23.3.3 | Lade-Geschwindigkeit .....                                       | 265 |
| 23.3.4 | Trickle-Down – Technologie-Transfer nach unten .....             | 265 |
| 23.3.5 | Die nächste Generation entscheidet .....                         | 267 |
| 23.4   | Können unseren hiesigen Autobauer weitermachen wie bisher? ..... | 268 |
| 23.4.1 | Wie westliche Hersteller reagieren .....                         | 268 |
| 23.5   | Was das für Sie als deutschen Käufer bedeutet .....              | 269 |

---

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| <b>Kapitel 24 Danke fürs Lesen</b> | <b>271</b> |
|------------------------------------|------------|

---

|          |                                          |     |
|----------|------------------------------------------|-----|
| Anhang A | Glossar der Fachbegriffe .....           | 273 |
| Anhang B | Weiterführende Studien und Quellen ..... | 281 |
| Anhang C | Abbildungsverzeichnis .....              | 295 |
| Index    | .....                                    | 297 |

- Abbildung 18.3 – [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gummischlauchleitung\\_H07RN-F\\_5G6\\_Aderendh%C3%BClsen\\_CEE\\_2012\\_04\\_03.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gummischlauchleitung_H07RN-F_5G6_Aderendh%C3%BClsen_CEE_2012_04_03.jpg)
- Abbildung 18.2 – [https://unsplash.com/id/@goe\\_official](https://unsplash.com/id/@goe_official)
- Nochmal vielen Dank an Christian Stapel für Abbildung 19.1 und Abbildung 19.2.
- Abbildung 20.1 – <https://unsplash.com/de/fotos/weisser-und-brauner-wohnmobilanhangertagsuber-auf-grunem-rasenplatz-SWuFxB8Y8w>

Die Abbildungen der BYD Fahrzeuge kommen alle von BYD Presskit unter [www.byd.com/eu/image-bank](http://www.byd.com/eu/image-bank)

- Abbildung 10.4
- Abbildung 10.5
- Abbildung 10.8

Alle Skoda-Abbildungen kommen von [www.skoda-storyboard.com/en/press-kits/skoda-elroq-press-kit](http://www.skoda-storyboard.com/en/press-kits/skoda-elroq-press-kit)

- Abbildung 10.2
- Abbildung 10.3

Alle Abbildungen des Fiat Panda kommen von [www.media.stellantis.com/em-en/fiat/media-library/press-images](http://www.media.stellantis.com/em-en/fiat/media-library/press-images)

- Abbildung 10.1

Alle Bilder von Kia kommen von [www.press-eu.kia.com/document/1128#/pbv/pv5-passenger](http://www.press-eu.kia.com/document/1128#/pbv/pv5-passenger)

- Abbildung 9.3

# Index

## Symbole

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 1-Gang-Getriebe .....  | 77  |
| 12-Volt-Batterie ..... | 205 |
| 800 V .....            | 90  |

## A

|                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| A Better Routeplanner .....           | 201, 273         |
| Abschleppen .....                     | 203              |
| Abwärme .....                         | 95               |
| AC-Laden .....                        | 273              |
| AC-Ladesäulen .....                   | 34               |
| Acoustic Vehicle Alerting System .... | 199, 273         |
| ADAC .....                            | 35               |
| Adaptive Spannungssysteme .....       | 94               |
| Ad-hoc-Bezahlung .....                | 111              |
| Ad-hoc-Laden .....                    | 38, 39, 214, 273 |
| Aerodynamische Optimierungen .....    | 182              |
| Aero-Felgen .....                     | 60               |
| Akkumulator .....                     | 57               |
| Aktives Balancing .....               | 97               |
| Alterungsprozess .....                | 189              |
| Android Auto .....                    | 265              |
| Anfangsinvestition .....              | 165              |
| Anhänger .....                        | 242              |
| Anhängerbetrieb .....                 | 242              |
| Anode .....                           | 273              |
| Anschaffungskosten .....              | 165, 241         |
| Antriebsart .....                     | 47               |
| BEV .....                             | 47               |
| FCEV .....                            | 48               |
| PHEV .....                            | 47               |
| Antriebstechnik .....                 | 69               |
| Apple CarPlay .....                   | 265              |
| ASM → Asynchronmotor                  |                  |
| Asynchronmotor .....                  | 71, 273          |

|                                         |          |
|-----------------------------------------|----------|
| Atacama .....                           | 252      |
| AUDI .....                              | 268      |
| Auslandsreisen .....                    | 207      |
| Autocharge .....                        | 112      |
| Autonomes Fahren .....                  | 115, 267 |
| AVAS → Acoustic Vehicle Alerting System |          |

## B

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Ballast .....                    | 178         |
| Batterie .....                   | 57          |
| Crash-Sicherheit .....           | 196         |
| Degradation .....                | 245         |
| Energy Saving Mode .....         | 187         |
| Lebensdauer .....                | 185         |
| Tiefentladungen .....            | 188         |
| Überladung .....                 | 188         |
| Vampire Drain .....              | 187         |
| wechseln .....                   | 261         |
| Zukunft .....                    | 62, 257     |
| Batteriedegradation .....        | 245         |
| Batteriegesundheit .....         | 185         |
| Batterie-Management .....        | 185         |
| Batterie-Management-System ..... | 61, 95, 185 |
| Batteriemiete .....              | 154         |
| Batterieproduktion .....         | 248         |
| Batterierecycling .....          | 258         |
| Batteriesymbol .....             | 203         |
| Batterietechnologien .....       | 58          |
| Batterieverschaltung .....       | 72          |
| Battery Electric Vehicle .....   | 47          |
| Begleitetes Fahren .....         | 172         |
| BEV → Battery Electric Vehicle   |             |
| Bidirektionales Laden .....      | 273         |
| Bioethanol .....                 | 50          |
| Biotreibstoff .....              | 49, 50      |
| Blockiergebühren .....           | 207         |

BMS → Batterie-Management-System

Brand

löschen ..... 194

was tun? ..... 193

Brandfall ..... 171

Break-Even-Punkt ..... 247

Bremsblending ..... 273

Bremsstufen ..... 199

BYD ..... 267

## C

CATL ..... 257, 267

CCS → Combined Charging System

CCS-Stecker ..... 105

Cell Balancing ..... 97, 274

CHAdemo ..... 106, 274

Chargemap ..... 201

China ..... 261

Cloud ..... 265

CO<sub>2</sub>-Bilanz ..... 247

CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ..... 229

Coldgate ..... 83, 102, 274

Combined Charging System ..... 105, 274

CoMo-Katalysatoren ..... 255

Coulomb Tracking ..... 98, 188, 274

C-Rate ..... 72, 273

## D

DC/DC-Wandler ..... 80

DC-Laden ..... 274

DC-Ladesäulen ..... 34

Degradation ..... 189, 245

Destination Charger ..... 111

Dienstwagen-Privileg ..... 166

Dieselskandal ..... 88

Differential Voltage Analysis ..... 274

Driver-Only ..... 178

Drive Unit ..... 78, 274

## E

EEBus ..... 234, 274

Efficiency Mode ..... 199

Effizientes Fahren ..... 177

Effizienz ..... 182

E-Fuels ..... 51

Elektroauto (BEV) ..... 47

Elektroauto, Nachteile ..... 241

Elektroauto-Versicherung ..... 171

spezifische Risiken ..... 172

Elektroautowartung ..... 190

Emissionen ..... 22

Energiedichte ..... 58, 274, 275

Energiemix ..... 250

Energieverbrauch ..... 84

Energy Saving Mode ..... 187

e-Pedal ..... 199

Erneuerbaren-Mix ..... 250

EROI (Energy Return on Investment) ..... 53

Ethische Dilemmata ..... 116

Extended-Range-EVs (EREVs) ..... 121

Extrembedingungen ..... 243

## F

Fahrbatterie ..... 58

Fahrgewohnheiten ..... 129

Fahrstil ..... 178

Fahrzeugbrand ..... 194

Fahrzeugcheck ..... 158

Fastned ..... 162

Ladekurve ..... 162

FCEV ..... 275

→ Fuel Cell Electric Vehicle → Wasserstoff-  
auto

Fehlerspeicher auslesen ..... 163

Feinstaub ..... 25

Felgengröße ..... 60

Festkörperbatterie ..... 63, 267

FI-Schutzschalter ..... 275

Flüssigkeitskühlung ..... 275  
 Fremderregter Synchronmotor ..... 275

## G

Garantie ..... 148, 157  
     für Gebrauchtwagen ..... 153  
     für Neuwagen ..... 148, 149  
 Gebrauchtwagen  
     SoH ..... 153, 156  
 Gebrauchtwagengarantie ..... 163  
 Gebrauchtwagenkauf ..... 153  
 Gesamtkostenbetrachtung ..... 174  
 Getriebe ..... 275  
 Gewichtsbezogene Energiedichte ..... 58  
 Gewitter ..... 226

## H

Heimspeicher ..... 230  
 Herstellungsemissionen ..... 249, 250  
 HEV ..... 275  
 High Power Charging (HPC) ..... 109  
 Hindenburg-Effekt ..... 195  
 Hochtemperaturkreis (HT) ..... 99  
 Hochvoltsystem ..... 275  
 HPC ..... 275  
 Hybridfahrzeuge ..... 25  
 Hydrotreating ..... 255  
 Hypermiling ..... 85

## I

IEC 61851 ..... 275  
 Ionity ..... 275  
 ISO 14443 ..... 225  
 ISO 15118 ..... 226, 235, 258, 275

## J

Joint Venture ..... 269

## K

Kaltstartphase ..... 88  
 Katalysatoren ..... 255  
 Kathode ..... 276  
 Kaufberatung ..... 117  
 Kaufkriterien  
     Gebrauchtwagen ..... 155  
     Neuwagen ..... 148  
 Kaufverhalten ..... 262  
 Kfz-Steuer-Befreiung ..... 174  
 KI im Auto ..... 267  
 Kilowatt (kW) ..... 36  
 Kilowattstunde (kWh) ..... 36, 276  
 Klimatisierung ..... 177  
 Kobalt ..... 251, 252, 255  
 Kobaltgewinnung ..... 252  
 Kofferraum ..... 125  
 Kostenvergleich ..... 173

## L

Ladebegrenzung ..... 186  
 Ladeetikette ..... 42  
 Ladegeschwindigkeit ..... 108  
     bei Gebrauchtwagen ..... 156  
 Ladeinfrastruktur ..... 27  
     Entwicklung ..... 257  
 Ladekabel ..... 108  
 Ladekarte ..... 38, 210  
 Ladekartenanbieter ..... 38  
 Ladekurve ..... 162, 276  
 Ladeleistung ..... 37  
 Lademanagement ..... 258  
 Laden ..... 33  
     erste Schritte ..... 33  
     Sicherheit ..... 226  
     zu Hause ..... 219  
 Ladenetz ..... 209  
     in Deutschland ..... 109  
     in Europa ..... 109, 214

|                                     |               |                                    |               |
|-------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| Ladenetzbetreiber .....             | 210           | LMFP-Batterien .....               | 257           |
| Laden in Europa .....               | 214           | Löschcontainer .....               | 195           |
| Ladesäule                           |               | Löschdecke .....                   | 195           |
| bezahlen .....                      | 37            | Löschdorn .....                    | 194           |
| finden .....                        | 33            | Löschlanze .....                   | 194           |
| Ladeetikette .....                  | 42            | Löschsack .....                    | 195           |
| Ladekarte .....                     | 38            | Ludicrous Mode .....               | 199           |
| Übersicht .....                     | 35            | Luftwiderstand .....               | 86            |
| Ladestand, optimaler .....          | 185           |                                    |               |
| Ladestrategien .....                | 206           | <b>M</b>                           |               |
| Ladetechnik .....                   | 33            | Machine-Learning-Algorithmen ..... | 114           |
| Ladeziegel .....                    | 108           | Marktvergleiche .....              | 174           |
| Länder-Guide .....                  | 214           | Materialkuchen .....               | 249           |
| Lärm .....                          | 180           | Mehrganggetriebe .....             | 78            |
| Lastmanagement, dynamisches .....   | 276           | Mehrmotorenkonzepte .....          | 73            |
| Lastschriftverfahren .....          | 111           | MHEV → Mild-Hybride .....          |               |
| Laufende Kosten .....               | 150, 169      | Mild-Hybride .....                 | 47            |
| Lebensdauer Batterie .....          | 185           | Mobilitätswende .....              | 255           |
| Lebenszyklus .....                  | 247           | Modbus .....                       | 225, 234, 276 |
| Lebenszyklusanalyse .....           | 247           | Modellauswahl .....                | 243           |
| Leistungselektronik .....           | 80            | Motortypen .....                   | 69            |
| Leistungsklassen .....              | 69            | Multiquellen-Wärmepumpe .....      | 276           |
| Level 1 (Assistiert) .....          | 115           |                                    |               |
| Level 2 (Teilautomatisiert) .....   | 115           | <b>N</b>                           |               |
| Level 3 (Hochautomatisiert) .....   | 115           | NACS .....                         | 276           |
| Level 4 (Vollautomatisiert) .....   | 115           | Natrium-Ionen-Batterien .....      | 254, 257      |
| Level 5 (Autonom) .....             | 115           | NCA → Nickel-Kobalt-Aluminium      |               |
| LFP → Lithium-Eisenphosphat         |               | Netzbetreiber .....                | 210, 223      |
| LFP-Batterie .....                  | 252, 257      | Neuwagenkauf .....                 | 147           |
| Lieferkettentransparenz .....       | 254           | NFC .....                          | 276           |
| Lithium-Eisenphosphat .....         | 58, 198, 252, | Nickel-Kobalt-Aluminium .....      | 58, 276       |
|                                     | 254, 276      | Nickel-Mangan-Kobal .....          | 58            |
| Lithiumgewinnung .....              | 252           | Niederspannungsanschlussverordnung |               |
| Lithiumhydroxid .....               | 253           | (NAV) .....                        | 223           |
| Lithium-Ionen-Batterie .....        | 276           | Niedertemperaturkreis .....        | 277           |
| Lithiumkarbonat .....               | 253           | NMC .....                          | 277           |
| Lithium-Mangan-Eisenphosphat .....  | 254           | → Nickel-Mangan-Kobalt             |               |
| Lithium-Plating .....               | 102, 276      | Normverbrauch .....                | 87            |
| Lithium-Plating .....               | 73            | North American Charging Standard   |               |
| LMFP → Lithium-Mangan-Eisenphosphat |               | (NACS) .....                       | 107           |

- Notfall ..... 203  
 Notfallabschaltung ..... 196  
 Notreserve ..... 203  
 Notstromfunktion ..... 231  
 NT → Niedertemperaturkreis  
 Nutzungsprofil ..... 129  
 NVH – Noise (Geräusch), Vibration (Schwin-  
 gung), Harshness (Rauheit/Härte) ..... 79  
 Nvidia ..... 269
- O**
- OBD2 ..... 154, 163  
 OCPP ..... 277  
 → Open Charge Point Protocol  
 Ökobilanz ..... 247  
 Ölschock ..... 54  
 Onboard-Charger ..... 277  
 One-Pedal-Driving ..... 179, 277  
 Open Charge Point Protocol ..... 225  
 Optimaler Ladestand ..... 185  
 OTA → Over-the-Air-Updates  
 Over-the-Air-Updates ..... 113, 266
- P**
- Pannendienst ..... 203  
 Parameter-ID ..... 163  
 Parkhäuser ..... 196  
 Passives Balancing ..... 97  
 Pay it forward ..... 44  
 PCM → Phasenwechselmaterialien  
 Permanenterregter Synchronmotor ..... 71  
 Permanentmagnet-Synchronmotor ..... 277  
 Phasenwechselmaterialien ..... 84  
 PHEV → Plug-in Hybrid Electric Vehicle  
 Photovoltaikanlage ..... 229  
 PID → Parameter-ID  
 Plug & Charge ..... 38, 111, 277  
 Plug-in Hybrid Electric Vehicle ..... 47, 277  
 → PHEV  
 Preconditioning ..... 279
- Probefahrt ..... 158  
 PSM → Permanentmagnet-Synchronmotor  
 PV-Anlage ..... 230  
 Pyrofuses ..... 277
- Q**
- Qualcomm ..... 269
- R**
- Range Extender ..... 47  
 → REX  
 Rapidgate ..... 83, 102, 277  
 RCD ..... 277  
 Realverbrauch ..... 87  
 Rebound-Effekt ..... 255  
 Recycling ..... 63, 258  
 Recyclingquoten ..... 258  
 Reduktionsgetriebe ..... 76, 275  
 Reichweite bei Gebrauchtwagen ..... 156  
 Reichweitenangst ..... 201  
 Reichweitenplanung ..... 200  
 Reifenabrieb ..... 25  
 Reifendruck ..... 181  
 Reisen mit dem E-Auto ..... 216  
 Reisetipps ..... 216  
 Rekuperation ..... 46, 178, 277  
 nutzen ..... 177  
 Rekuperationsstufen ..... 177, 199  
 Ressourcenverbrauch ..... 251  
 Rettungsdatenblatt ..... 191  
 REX ..... 277  
 RFID ..... 278  
 RFID-Chip ..... 38  
 RFID-Schnittstellen ..... 225  
 Roaming ..... 209, 278  
 Roaming-Kosten ..... 213  
 Rohstoffverbrauch ..... 251  
 Rollwiderstand ..... 278  
 Routenplanung ..... 182

**S**

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| SAIC .....                      | 268          |
| Schaltgetriebe .....            | 76           |
| Schildkrötenmodus .....         | 203, 278     |
| Schnellladen .....              | 100, 278     |
| Schnellladesäulen .....         | 34           |
| Schweden-Studie .....           | 248          |
| Schwefel .....                  | 255          |
| SDV → Software Defined Vehicles |              |
| Second Life .....               | 64           |
| SEI-Schutzschicht .....         | 189          |
| Seltene Erden .....             | 46           |
| Sensortechnologie .....         | 116          |
| Sentry Mode .....               | 187          |
| SiC .....                       | 278          |
| Sicherheitsstrategien .....     | 98           |
| Single-Pedal-Mode .....         | 199          |
| Sitzheizung .....               | 86           |
| Smart Grid .....                | 239, 278     |
| Smart-Home-Integration .....    | 225          |
| Smart Meter .....               | 234          |
| SO 14443 .....                  | 275          |
| SoC → State of Charge           |              |
| Software Defined Vehicles ..... | 114          |
| SoH → State of Health           |              |
| Solarüberschussladen .....      | 278          |
| Sonderabschreibung .....        | 166          |
| Sparsamer Verbrauch .....       | 179          |
| Sparsam Fahren .....            | 177          |
| Spodumen .....                  | 253          |
| Sprachsteuerung .....           | 266          |
| Staatliche Förderung .....      | 166          |
| Standard EBUS .....             | 234          |
| Starkstrom .....                | 278          |
| State of Charge .....           | 97, 278      |
| State of Health .....           | 97, 153, 278 |
| Steuerliche Vorteile .....      | 166          |
| Steuerlogik .....               | 100          |
| Stop-and-Go .....               | 177          |
| Strombedarf .....               | 238          |

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Stromknappheit .....             | 24       |
| Strommix .....                   | 22       |
| Stromnetz .....                  | 24, 258  |
| Stromproduktion .....            | 250      |
| Studien .....                    | 22       |
| SunSpec Alliance (SunSpec) ..... | 234, 278 |
| Supercharger .....               | 278      |
| Synchronmotor .....              | 278      |
| Synchronmotoren .....            | 46       |

**T**

|                                        |                 |
|----------------------------------------|-----------------|
| TCO → Total Cost of Ownership          |                 |
| TCO-Vergleich .....                    | 173             |
| Temperaturkontrolle .....              | 95              |
| Temperatursensoren .....               | 99              |
| Test .....                             | 281             |
| Thermalmanagement .....                | 80, 95, 279     |
| thermal runaway .....                  | 194             |
| Thermisches Durchgehen .....           | 23, 194, 279    |
| THG-Prämie .....                       | 167             |
| THG-Quote .....                        | 167             |
| Tiefentladung .....                    | 188, 203        |
| Tiefgaragen .....                      | 196             |
| Torque Pro .....                       | 154, 163        |
| Total Cost of Ownership .....          | 16, 131         |
| Traktionsbatterie .....                | 57, 58, 95, 279 |
| Degradation .....                      | 189             |
| Diagnose .....                         | 162             |
| überprüfen .....                       | 161             |
| Transformation der Autoindustrie ..... | 268             |
| Treibhausgasminderungsquote .....      | 167             |
| Trickle-Down .....                     | 265             |
| Triple-Charger .....                   | 106             |
| Typ2-Stecker .....                     | 105, 279        |

**U**

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Überladung .....         | 188 |
| Umweltauswirkungen ..... | 251 |
| Umweltschäden .....      | 255 |

**V**

|                                     |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| V2G .....                           | 279               |
| V2H .....                           | 279               |
| V2L .....                           | 279               |
| Vampire Drain .....                 | 187               |
| Vehicle Exterior Sound System ..... | 199               |
| Vehicle to Grid (V2G) .....         | 94, 235           |
| Vehicle to Home (V2H) .....         | 94, 235           |
| Vehicle to Load (V2L) .....         | 235               |
| Verbrauch                           |                   |
| bei Gebrauchtwagen .....            | 157               |
| Verkaufszahlen .....                | 120               |
| Verschleißteile .....               | 192               |
| Versicherung .....                  | 149, 171          |
| Brandschutz .....                   | 172               |
| Zusatzversicherungen .....          | 172               |
| Versicherungsschutz .....           | 171               |
| VESS .....                          | 279               |
| → Vehicle Exterior Sound System     |                   |
| Vollhybride (HEV) .....             | 47                |
| Vollkaskoschutz .....               | 172               |
| Vollkaskoversicherung .....         | 172               |
| Vollkostenberechnung .....          | 174               |
| Volumenbezogene Energiedichte ..... | 59                |
| Vorausschauendes Fahren .....       | 178               |
| Vorkonditionierung .....            | 82, 101, 177, 279 |

**W**

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Wallbox .....                         | 219, 279 |
| 3,6 kW .....                          | 224      |
| 11 kW .....                           | 222      |
| Anschluss ans Hausnetz .....          | 222      |
| Bußgelder .....                       | 224      |
| Cloud-Funktionen .....                | 221      |
| Genehmigung durch Netzbetreiber ..... | 224      |
| Kosten .....                          | 232, 235 |
| Meldepflicht .....                    | 223      |
| Sicherungskasten .....                | 223      |
| smart .....                           | 220      |
| Typen .....                           | 220      |

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| und PV-Anlage .....         | 229         |
| Zuschuss .....              | 221         |
| Wärmepumpe .....            | 81, 99, 279 |
| Wartung .....               | 190         |
| Wartungskosten .....        | 23, 169     |
| Wasserstoff .....           | 50, 195     |
| Wasserstoffauto .....       | 48          |
| Wasserstoff-Tanksäule ..... | 49          |
| WeChat .....                | 265         |
| Wechselrichter .....        | 279         |
| Wertentwicklung .....       | 172         |
| Wertstabilität .....        | 173         |
| Wiederverkaufswert .....    | 172         |
| Winterbetrieb .....         | 189         |
| Wintermodus .....           | 189         |
| Winterverbrauch .....       | 88          |
| Wirkungsgrad .....          | 54, 280     |
| Wirtschaftlichkeit .....    | 165, 232    |
| WLTP .....                  | 87, 280     |
| WLTP-Verbrauchswerte .....  | 87          |
| Wunderbatterie .....        | 63          |

**X**

|             |     |
|-------------|-----|
| Xpeng ..... | 268 |
|-------------|-----|

**Z**

|                        |     |
|------------------------|-----|
| Zelle .....            | 280 |
| Zelltemperaturen ..... | 100 |
| Zellüberwachung .....  | 96  |
| Zukunft .....          | 257 |

# Der Ratgeber rund ums E-Auto

Die Vorteile von E-Autos liegen auf der Hand: leises, komfortables Fahren, günstiges Laden an der eigenen Wallbox und saubere Mobilität ohne fossile Brennstoffe. Doch wie steht es um Reichweite, Ladeabos und Anschaffungskosten? In diesem Ratgeber erklärt Jörg Rippel alles, was Sie vor dem Kauf und bei den ersten Fahrten wissen müssen – vom Laden unterwegs über Batteriemanagement und Ökobilanz bis hin zur effizienten Nutzung im Alltag.



*Technik einfach erklärt*



*Alltag mit dem E-Auto*



*Sparsam unterwegs*

## Technik verstehen

Die Technik eines E-Autos ist sicher und ausgereift, funktioniert aber ganz anders als beim Verbrenner. Was Sie über die Batterie, Antriebstechnik und das Thermomanagement wissen müssen, finden Sie in diesem Technikratgeber.

## Effizient und sparsam unterwegs

Ihr neues Auto ist bereits effizient – mit cleverer Fahrweise sinkt der Verbrauch weiter. Kleine Anpassungen sparen Energie, schonen die Batterie und reduzieren die Kosten. Praxisnahe Tipps zeigen, wie Sie Ihr E-Auto im Alltag optimal nutzen.

## Das richtige Auto für Sie

Welches E-Auto passt zu Ihnen? Ist eine PV-Anlage sinnvoll oder brauchen Sie die Reichweite eines Hybrids? Marktübersichten nach Fahrzeugklassen, Checklisten für Neu- und Gebrauchtkauf und Vergleiche von Ladekarten und -apps helfen bei der Kaufentscheidung.



Die Faszination für elektrische Technik begleitet **Jörg Rippel** seit Jahren. Als Elektroniker und Systemingenieur erkundet er mit viel Neugier und Fachwissen die technischen Möglichkeiten moderner Elektromobilität.

## Aus dem Inhalt

- Mythen und Fakten zu E-Autos
- Laden leicht gemacht: die ersten Schritte
- Von der Verbrennung zum Elektromotor
- Batterie und Antrieb
- Ladetechnik- und Infrastruktur
- Marktüberblick und Kaufberatung
- Sparsam fahren
- Ladekarten, Netze und Roaming
- Ökobilanz und erneuerbare Energie
- Checkliste für den Kauf eines E-Autos
- Aktuelle Förderungen

