VDE Studie

Energiegeladen in die Zukunft

Elektromobilität als Standortvorteil für Deutschland

Aktuelle Fakten zur Interaktion zwischen Elektromobilität und Energiesystem, Kundenakzeptanz und Ladeinfrastruktur, Elektrifizierung des Güterverkehrs sowie Klimabilanz und Rohstoffe

VDE

Empfohlene Zitierweise
VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.:
Elektromobilität im Energiesystem der Zukunft, VDE Studie, Offenbach am Main, November 2025

Diese VDE Studie ist Arbeitsergebnis der VDE ETG Task Force
„Elektromobilität im Energiesystem der Zukunft".

Autoren
Ulrich Aschenbroich, Phoenix Contact E-Mobility GmbH
Richard Barkoczy, Siemens AG
Benjamin Behncke, Aral pulse
Irina Blümel, SachsenNetze HS.HD GmbH
Prof. Dr.-Ing. Yves Burkhardt, Technische Universität Darmstadt
Maximilian Dauer, Siemens AG
Konrad Dittrich, RWTH Aaachen – ISEA
Christian Dober, EnBW mobility+ AG & Co.KG
Prof. Dr.-Ing. Martin Doppelbauer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Dr. Joachim Fetzer, Marelli
Kai Fieber, Ambibox GmbH
Peter Guse, Vector Informatik GmbH
Prof. Dr.-Ing. Jana Kertzscher, TU Bergakademie Freiberg
Dr. Martin Kleimaier, VDE ETG
Markus Kröger, K2 Mobility GmbH
Alexander Kupfer, Audi AG
Dipl.-Ing. Ulrich Reiner, Hager Electro GmbH und Co. KG
Daniel Schramek, Daimler Truck AG
Dr. Carsten Söffker, Alstom Transport Deutschland GmbH
Dr.-Ing. Moritz Vaillant, Dr. Ing. h.c.F. Porsche AG
Andreas Weiss, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)
Prof. Dr. Heinz Werntges, Hochschule Rhein Main
Dr. Martin Zapf, Stadtwerke München GmbH
Michael Zeyen, vancom GmbH & Co. KG

Vorbemerkung
VDE Studien geben – entsprechend der Positionierung des VDE als neutraler, technisch-wissenschaftlicher Verband – gemeinsame Erkenntnisse der Mitglieder der Task Force wieder. Die Gemeinschaftsergebnisse werden im konstruktiven Dialog aus häufig unterschiedlichen Positionen erarbeitet. Die Studien spiegeln daher nicht unbedingt die Meinung der durch ihre Mitarbeiter vertretenen Unternehmen und Institutionen wider.

Herausgeber:
VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.
Energietechnische Gesellschaft (ETG)
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel. +49 69 6308-346
etg@vde.com
www.vde.com/etg

Layout und redationelle Unterstützung: Köster Kommunikation

Redaktionsschluss: November 2025

Inhalt

Management Summary 4

Einleitung 5

Elektromobilität – neuer Akteur im Energiesystem der Zukunft 6

BEV-Pkw: Auf dem Vormarsch 8

BEV-Lkw: Elektrifizierung in den Startlöchern 11

Klimabilanz und Rohstoffe 14

Handlungsempfehlungen 17

Quellenübersicht 19

Die beteiligten Expertinnen und Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft im Überblick

Ulrich Aschenbroich
Senior Director Charging Infrastructure, Phoenix Contact E-Mobility GmbH

Richard Barkoczy
Manager Pre-Development & Innovation, Siemens AG

Benjamin Behncke
Global Head of Hardware – bp pulse, Aral pulse

Irina Blümel
Fachreferentin Berichte und Strategie, SachsenNetze HS.HD GmbH

Prof. Dr.-Ing. Yves Burkhardt
Fachgebiet Elektrische Antriebssysteme, TU Darmstadt

Maximilian Dauer
Projektleiter Kopernikus ENSURE, Siemens AG

Konrad Dittrich
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, (Träger-Herbert-Kind-Preis der VDE ETG), RWTH Aaachen

Christian Dober
Produktmanager Ladeinfrastruktur E-Mobilität, EnBW mobility+ AG & Co.KG

Prof. Dr.-Ing. Martin Doppelbauer
Lehrstuhl für Hybridelektrische Fahrzeuge (HEV), KIT

Dr. Joachim Fetzer
CTIO & EVP, Marelli

Kai Fieber
CTO, Ambibox GmbH

Peter Guse
Senior Director BD, Vector Informatik GmbH

Prof. Dr.-Ing. Jana Kertzscher
Professorin für Elektrotechnik, TU Bergakademie Freiberg

Dr. Martin Kleimaier
Leiter Fachbereich V1, VDE ETG

Markus Kröger
Managing Director, K2 Mobility GmbH

Alexander Kupfer
Entwicklung Nachhaltigkeit, AUDI AG

Dipl.-Ing. Ulrich Reiner
Senior Innovation Manager – E-Mobility & Energy, Hager Electro GmbH und Co. KG

Daniel Schramek
Regulatory Affairs Expert, Daimler Truck AG

Dr. Carsten Söffker
Master Expert for Energy Management (Railway Systems), Alstom Transport Deutschland

Dr.-Ing. Moritz Vaillant
Produktstrategie Smart Mobility, Dr. Ing. h.c.F. Porsche AG

Andreas Weiss
Leiter Verteilnetze und Elektromobilität, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)

Prof. Dr. Heinz Werntges
Professor für Angewandte Informatik, Hochschule RheinMain

Dr. Martin Zapf
Senior Advisor Energiewirtschaft, Stadtwerke München GmbH

Michael Zeyen
Geschäftsführer, vancom GmbH & Co. KG

Management Summary

Deutschland steht 2025 an der Schwelle zum Massenmarkt der Elektromobilität. Die Technologie ist millionenfach erprobt und marktreif – die Frage ist nicht mehr, ob, sondern wie schnell sich die Elektromobilität auf den Straßen durchsetzt. Zudem ist Elektromobilität heute weit mehr als eine alternative Antriebsform: Sie ist ein zentraler Hebel für Klimaschutz, Energiewende und industrielle Wertschöpfung.

E-Autos: vom Stromverbraucher zum wichtigen Akteur im Energiesystem

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEVs) sind nicht nur Verkehrsmittel, sondern auch aktive Akteure im Energiesystem. Durch gesteuertes und bidirektionales Laden können sie Erzeugungsspitzen der Erneuerbaren Energien aufnehmen und Ladevorgänge kurzfristig verlagern. Das stabilisiert das Stromnetz und reduziert die Stromkosten. Bereits 2030 könnten dadurch zwei bis fünf Prozent des gesamten Stromverbrauchs mehr an Erneuerbaren Energien genutzt werden sowie bis zu sechs Gigawatt flexible Leistung bereitgestellt werden – mehr als die aktuell benötigte Regelleistung oder auch Reserveleistung Deutschlands. Überschussladen mit Solar- oder Windstrom reduziert fossile Energienutzung und senkt gleichzeitig Stromkosten.

Der BEV-Pkw: Wirtschaftlich und alltagstauglich

Die Nachfrage nach BEVs wird durch staatliche Förderungen, niedrige Betriebskosten und der Treibhausgasneutralität als politisches Ziel angetrieben. Fortschritte bei Batterietechnologie und Reichweite, Schnellladeinfrastruktur und Standardisierung erhöhen Komfort und Akzeptanz. Trotz höherer Anschaffungskosten gleichen BEVs diese über die Lebensdauer durch geringere Betriebskosten bereits heute aus. Preisparität bei den Anschaffungskosten wird für BEV-Pkw ab 2027 erwartet.

Klimavorteil wächst – Rohstoffe gesichert

BEV-Pkw erreichen bereits heute ab rund 30.000 Kilometern eine bessere Klimabilanz als Verbrenner. Bei 150.000 km Laufleistung beträgt der CO_2-Ausstoß nur 24 Tonnen gegenüber 40 Tonnen bei Benzinern. Die globalen Reserven für Lithium, Kobalt, Nickel sind ausreichend, wobei Deutschland einen hohen Anteil an Energieimporten aufweist. Eine stärkere Diversifizierung, mehr Recycling und eine höhere Rohstoffsubstitution erhöhen die Versorgungssicherheit.

BEVs erreichen den Lkw-Markt

Auch im Güterverkehr kommt die Elektromobilität voran. BEV-Lkws (Batterieelektrische Lkw) sind bereits heute in der 7,5-Tonnen-Klasse wirtschaftlich konkurrenzfähig. Und bis 2030 werden BEV-Lkws in fast allen Lkw-Segmenten Kostenvorteile erzielen. Hierzu tragen verschiedene Entwicklungen bei. Einerseits werden die Energie- und CO_2-Kosten für Diesel-Lkw stetig steigen, während es andererseits zu technologischen Fortschritten bei der Fahrzeug-/Batterieentwicklung kommt, Skalierungseffekte bei Ladeinfrastruktur zu erwarten sind sowie günstige wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen (beispielsweise Mautbefreiung, kein CO_2-Preis) sich abzeichnen.

Rahmenbedingungen zügig anpassen

Deutschland schafft mit §14a EnWG, dem neuen Messstellenbetriebsgesetz und dem Rollout intelligenter Messsysteme (iMSys), die Grundlagen für eine netzverträgliche Integration von Elektrofahrzeugen in das Energiesystem. Auch für bidirektionales Laden entwickelt sich derzeit der rechtliche Rahmen weiter für den Fall der Netzrückspeisung (V2G). Um das volle, systemische Potenzial der Elektromobilität und des bidirektionalen Ladens zu heben, bedarf es branchenübergreifend akzeptierter Lösungen und regulatorischer Klarheit. Fortschritte besonders im Kontext der Interoperabilität und der Vereinheitlichung nationaler (und europäischer) Netzanschlussbedingungen stellen dabei zentrale Meilensteine dar. Kurzfristig könnte bis 2030 durch den Einsatz regulatorischer Experimentierklauseln der wirtschaftliche und netzverträgliche Betrieb erprobt und konkretisiert werden.

Elektromobilität ist **Enabler der Energiewende, Innovationstreiber der Industrie** und somit wichtig für Umwelt und Verbraucher. Zudem bieten BEVs Fahrspaß und Komfort und sind umweltfreundlich. Wenn Politik und Industrie jetzt entschlossen handeln, kann Deutschland eine führende Rolle bei der Verbindung von Mobilität, Energie und Klimaschutz einnehmen.

Einleitung

Deutschland steht vor der Herausforderung, Energie- und Verkehrswende miteinander zu verbinden. Bis 2045 soll Klimaneutralität erreicht sein. Dafür muss Strom zunehmend erneuerbar erzeugt und intelligent genutzt werden. In diesem Zusammenhang rückt Elektromobilität in den Mittelpunkt der strategischen Diskussion: Sie ist nicht allein ein Instrument zur Dekarbonisierung des Verkehrs, sondern auch ein integraler Bestandteil eines flexiblen, resilienten Energiesystems.

Zielsetzung der Studie

Die vorliegende Studie untersucht, welchen Beitrag die Elektromobilität zur Energiewende leisten kann. Sie richtet sich an Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft ebenso wie an die Fachöffentlichkeit und Forschung. Ziel ist es, auf Basis aktueller Daten, Modellierungen und Experteneinschätzungen ein realistisches Bild der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Entwicklung zu zeichnen – und daraus Handlungsempfehlungen für Politik und Praxis abzuleiten.

Gesellschaftliche Dimension

Der Erfolg der Elektromobilität hängt nicht allein von Technik und Regulierung ab, sondern auch von Akzeptanz und Vertrauen. Nutzer entscheiden darüber, ob neue Technologien im Alltag ankommen. Infrastruktur, Alltagstauglichkeit, Kostenwahrnehmung und Umweltbewusstsein sowie Treibhausgasneutralität sind daher zentrale Faktoren. Elektromobilität ist nicht nur ein technologischer Wandel, sondern auch ein gesellschaftlicher Transformationsprozess.

Methodischer Ansatz

Die vorliegende Studie basiert auf einer strukturierenden Inhaltsanalyse fünf thematisch gegliederte Abschnitte, die jeweils zentrale Aspekte der Elektromobilität beleuchten. Die Inhalte wurden aus aktuellen Fachpublikationen und Studien zusammengeführt und systematisch aufbereitet. Zugrunde liegen Expertenbeiträge, Studienauszüge, politische Analysen und Experteninterviews. Die mitwirkenden Experten und Expertinnen aus Wirtschaft und Wissenschaft sind zu Beginn der Studie namentlich aufgeführt. Anschließend erfolgte die Zusammenführung, um ein möglichst ganzheitliches Bild der Elektromobilität zu zeichnen – mit besonderem Fokus auf ihre Rolle im Energiesystem der Zukunft.

Aufbau der Studie

- **Elektromobilität – neuer Akteur im Energiesystem der Zukunft**
  Wie lässt sich Elektromobilität in ein zunehmend erneuerbares Energiesystem integrieren?
- **BEV-Pkw: Auf dem Vormarsch**
  Welche Faktoren beeinflussen die Akzeptanz und Nutzung durch Privatpersonen und Unternehmen?
- **BEV-Lkw: Elektrifizierung in den Startlöchern**
  Welche Faktoren beeinflussen die Akzeptanz und Nutzung durch Speditionen und Unternehmen?
- **Klimabilanz und Rohstoffe**
  Wie steht es um die tatsächliche Klimabilanz und wie nachhaltig sind Elektroautos (BEVs)?
- **Handlungsempfehlungen**
  Welche weiteren politischen Rahmenbedingungen sind notwendig, um Ladeinfrastruktur, Fahrzeugtechnik und Netzstabilität zu gewährleisten und eine Systemintegration zu ermöglichen?

Die Studie zeigt, wo die Elektromobilität heute steht, welche **Potenziale sie für Energie- und Klimapolitik** eröffnet und welche Schritte notwendig sind, um diese Potenziale zu realisieren. Sie versteht sich als Beitrag zu einem faktenbasierten Dialog über die Zukunft der Energie- und Verkehrspolitik in Deutschland.

Elektromobilität – neuer Akteur im Energiesystem der Zukunft

2025 werden Erneuerbare Energien voraussichtlich über 60 Prozent der Bruttostromerzeugung in Deutschland leisten. Dabei treten schon heute regelmäßig Phasen mit massiven Stromüberschüssen auf – ein Trend, der sich mit dem weiteren Ausbau von Wind- und Solarenergie deutlich verstärken wird.

Elektromobilität kann mithelfen, diese Energie intelligent zu nutzen. Denn richtig eingesetzt sind BEVs nicht nur Verkehrsmittel, sondern aktiver Bestandteil in einem flexiblen und resilienten Energiesystem. Dank langer Standzeiten, steuerbarer Ladeprozesse und relevanter Speicherkapazitäten eröffnen sie neue Optionen zur effizienten Nutzung Erneuerbarer Energien und zur Stabilisierung der Stromnetze.

Überschussladen: Erneuerbare in Spitzenzeiten nutzen

Simulationen zeigen, dass bereits 2030 über 90 Prozent des Strombedarfs für Elektromobilität zu den Zeiten gedeckt werden könnten, wenn zu viel erneuerbarer Strom produziert werden würde. Strom, der andernfalls abgeregelt wird und verfällt. Hintergrund: BEVs können ihren Strombedarf beim Laden während der Standzeiten zeitlich flexibel verschieben. Sie ermöglichen im Sommer – wenn Photovoltaikanlagen tagsüber intensiv produzieren – sogenanntes Überschussladen und nehmen die Überkapazitäten auf. Ähnlich im Winter, wenn nachts erhebliche Mengen an Windstrom zur Verfügung stehen.

So entstehen Synergien zwischen BEV-Nutzer, Stromerzeugern und Netzbetreibern. Bereits 2030 könnten 11 bis 33 Terawattstunden BEV-Ladung in Zeiten hoher Erzeugung verschoben werden – das sind etwa zwei bis fünf Prozent des gesamten Elektroenergieverbrauchs Deutschlands (siehe Grafik 1, dazugehörige Annahmen auf Seite 7).

Netzorientiertes Laden und Systemdienstleistungen

Angesichts dieser Dimension müssen beim Laden die verfügbaren Netzkapazitäten berücksichtigt werden. Das netzorientierte Laden verteilt die Ladedauer auf das gesamte Zeitfenster der Spitzenproduktion Erneuerbarer Energien. Dabei können BEVs schnell ihre Ladeleistung anpassen und so dem Netz kurzfristig Flexibilität liefern und dadurch Netzüberlastungen vermeiden. Hierfür ist eine intelligente Kommunikation zwischen Fahrzeug, Ladepunkt, Netzbetreiber und Energieversorger notwendig. Ist das gegeben, können BEVs zusätzlich Frequenz und Spannung stabilisieren. Diese Maßnahmen senken den Netzausbaubedarf und die damit verbundenen Kosten deutlich und zahlen gleichzeitig auf mehr Resilienz und Effizienz ein.

Grafik 1: Erneuerbare Energien besser ausnutzen

Potential von Überschussladen und bidirektionalem Laden (V2G) Erneuerbarer Energien in Deutschland

Szenarien für das Jahr 2030: 10 Millionen BEV mit einer Laufleistung von 14.000 km/ Jahr

		Konservativ	Optimistisch	Bedeutung im Energiesystem 2030
Energie Ausnutzung der Erneuerbaren (pro Jahr)	Verschieben in Spitzenzeiten der Erneuerbaren	**10 TWh**	**21 TWh**	**2 – 5 %** des deutschen Strom verbrauchs würden zusätzlich erneuerbar statt fossil gedeckt
	Zwischenspeichern Erneuerbarer V2G	**1 TWh**	**12 TWh**	

Quelle: Fraunhofer ISE & ISI, 2024; Guéret, Gaete-Morales & Schill, 2025; Schlund, German & Pruckner, 2022; Siemens, 2023; Striani et al., 2024; KBA, 2023; Ifeu, 2023; Stemmer, 2024

Bidirektionales Laden – BEVs als dezentrale Speicher

Beim bidirektionalen Laden können BEVs nicht nur Strom aufnehmen, sondern auch wieder abgeben. Bei rund 10 Millionen BEVs bis 2030 mit einer angenommenen Batteriekapazität von 60 kWh entsteht eine potenzielle Speicherkapazität von rund 600 Gigawattstunden – das entspricht einem Vielfachen der für das Jahr prognostizierten stationären Großspeicher in Deutschland. BEVs werden dadurch zu einem zentralen Element für den kurzfristigen Ausgleich von Erzeugungsspitzen und können stationäre Speicher gut ergänzen.

Voraussetzung sind rückspeisefähige Fahrzeuge und genormte Ladeeinrichtungen, die Energieflüsse in beide Richtungen ermöglichen. Unter dem Begriff **V2X (Vehicle-to-Everything)** werden verschiedene Anwendungsfälle zusammengefasst:

- **V2G (Vehicle-to-Grid):** Rückspeisung ins Stromnetz zur Bereitstellung von Flexibilität und Systemdienstleistungen. Ein Energiemanagementsystem koordiniert dabei auf Gebäudeebene die Energieflüsse zwischen BEVs, stationärem PV-Speicher, weiteren Erzeugern beziehungsweise Verbrauchern im Gebäude sowie dem Netz. Damit werden elektrische Gebäudeautarkie und Energiekosten im Sinne des Nutzers optimiert und die Versorgungskontinuität sichergestellt.

Mit zunehmender Verbreitung von BEVs wächst ihr Potenzial als dezentrale Energiespeicher. Sie verbinden die Sektoren Verkehr und Energie und stabilisieren das Netz, mit zusätzlichem Mehrwert für die Nutzer. Wie schnell sich diese Integration vollzieht, zeigt ein Blick auf die wachsende Zahl von BEVs in Deutschland.

- **V2H (Vehicle-to-Home):** V2H (vehicle-to-Home) Stromversorgung eines Gebäudes, wobei zwischen netzgekoppeltem und Inselnetzbetrieb – ohne Verbindung zum öffentlichen Stromnetz – unterschieden wird. Ein Energiemanagementsystem koordiniert dabei auf Gebäudeebene die Energieflüsse zwischen BEVs, stationärem PV-Speicher, weiteren Erzeugern beziehungsweise Verbrauchern im Gebäude sowie dem Netz. Damit werden elektrische Gebäudeautarkie und Energiekosten im Sinne des Nutzers optimiert und die Versorgungskontinuität sichergestellt.
- **V2L (Vehicle-to-Load):** Direkte Stromversorgung einzelner Geräte oder Verbraucher.

Die Flexibilität der BEV – bis zu 9 GW aus uni- wie auch bidirektionaler Flexibilität – wird nach Schätzungen in 2030 bereits deutlich größer sein, als die heute notwendige Regelleistung (siehe Grafik 2).

Grafik 2: Elektromobilität bietet dringend benötigte Flexibilität

Abschätzung der bereitstellbaren Flexibilität durch anpassbares Laden und bidirektionale Rückspeisung (V2G)

Szenario für das Jahr 2030: 10 Millionen BEV

		Konservativ	Optimistisch	Bedeutung im Energiesystem 2030
Leistung für Flexibilität	Unidirektionale Flexibilität	**1 GW**	**3 GW**	**25 % ... > 100 %** der gesamten benötigten Regelleistung Deutschlands
	Bidirektionale Flexibilität (V2G)	**0,7 GW**	**6 GW**	

Quelle: Fraunhofer ISE & ISI, 2024; Guéret, Gaete-Morales & Schill, 2025; Schlund, German & Pruckner, 2022; Siemens, 2023; Striani et al., 2024; KBA, 2023; Ifeu, 2023; Stemmer, 2024

Die Szenarien wurden abgeleitet aus verfügbaren Studien mit nachvollziehbaren Annahmen. Die Zahlen zeigen qualitative Trends.

2030 Deutschland 10 Mio. BEV
- Fahrleistung je BEV: 14.000 km/Jahr, Verbrauch (real): ≈ 20 kWh/100 km → 2,8 MWh/Jahr je BEV
- Ladeverluste: +10 % → ≈ 3,1 MWh/Jahr je BEV, Flotte: 10 Mio. BEV → ≈ 31 TWh/Jahr Ladeenergie gesamt (inkl. Verluste)

Unidirektionale Flexibilität – kurzfristige Anpassung Ladeleistung (nur ins Fahrzeug)
- Konservativ: ca. 2 % der Flotte steuerbar und aktiv; Ø 5 kW je Fz. → ≈ 1 GW
- Optimistisch: ca. 6 % der Flotte steuerbar und aktiv; Ø 6 – 8 kW je Fz. → ≈ 3 GW

Bidirektionale Flexibilität – kurzfristige Anpassung Ladeleistung (beide Richtungen)
- Konservativ: V2G-fähig 10 %; davon 20 % aktiv; Ø 3,7 kW je Fzg. → ≈ 0,7 GW
- Optimistisch: V2G-fähig 30 %; davon ≈ 30 % aktiv; Ø 7 kW je Fzg. → ≈ 6 GW

Verschieben in Spitzenzeiten der Erneuerbaren (Überschussladen) – Energie der Fahrzeuge, die gezielt nur zu Zeiten laden in denen ansonsten abgeregelt würde. (D.h. nach Deckung des gesamten Bedarfs in Deutschland inkl. Befüllung Stationärer Speicher)
- Konservativ: Laden zu Überschusszeiten 33%*31 TWh: ≈ 10 TWh/Jahr
- Optimistisch: 67%*31 TWh : ≈ 21 TWh/Jahr

Zwischenspeichern Erneuerbarer V2G – Energie, die Fahrzeuge in Überschusszeiten aufnehmen und später wieder abgeben.
- Konservativ: ≈ 1 TWh/Jahr (≈ 1.000 h Nutzung * 0,7 GW)
- Optimistisch: ≈ 12 TWh/Jahr (≈ 2.000 h Nutzung * 6 GW)

Energie, die gesteuert aus Erneuerbaren Quellen kommt;
ca. 600TWh Gesamtverbrauch Deutschland → 11 – 33 TWh → ≈ 2 – 5 %

Leistung, die regelbar dem Netz verfügbar ist; ca. 6 GW gesamte Regelleistung in Deutschland (Primär-, Sekundärregelleistung und Minutenreserve)
→ 1,7 GW – 9 GW → ≈ 25 – 100 %

BEV-Pkw: Auf dem Vormarsch

Die Elektromobilität macht in Deutschland große Fortschritte. Ihre Wahrnehmung hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. Staatliche Förderung, niedrige Betriebskosten, Umweltbewusstsein, Fahrkomfort und technische Innovationen gelten als wichtigste Treiber für den Kauf eines BEV-Pkw.

Gleichwohl bleiben – in der Regel unbegründete – Bedenken wie zum Beispiel Reichweitenängste, Preissensitivität, Ladeinfrastrukturbedenken und Zweifel an der Umweltfreundlichkeit zentrale Hemmnisse. Insgesamt zeigen Studien aber eine abnehmende Skepsis – besonders bei jüngeren Altersgruppen und bei Menschen mit eigener Nutzungserfahrung.

Positive Marktdynamik

Die Marktentwicklung unterstreicht den Wandel hin zu einer breiten Akzeptanz. In den ersten drei Quartalen 2025 stiegen die Neuzulassungen von BEV-Pkw auf 380.000 und damit um fast 40 Prozent gegenüber dem Vorjahr, während der Gesamtmarkt leicht schrumpfte. Der Anteil von BEV-Pkw an den Neuzulassungen liegt 2025 bei über 18 Prozent. Maßgeblich dafür sind Steuervergünstigungen und Rabatte, insbesondere für gewerbliche Halter. Der Anteil von BEV-Pkw am Gesamtbestand beträgt inzwischen über drei Prozent. 2024 wurden erstmals mehr gebrauchte als neue BEV-Pkw von Privatpersonen gekauft – ein Zeichen für die zunehmende Normalisierung im Fahrzeugmarkt.

Wirtschaftlichkeit und Betriebskosten

Zentrale Grundlage der Wirtschaftlichkeit von BEV-Pkw ist die Betrachtung der Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO). Das beinhaltet Anschaffungskosten sowie laufende Ausgaben für Treibstoff, Wartung oder Versicherung. Bei den Anschaffungskosten ist das Verbrennerfahrzeug heute in der Regel die günstigere Wahl. Aber: Batterien – mit etwa einem Drittel des BEV-Fahrzeugpreises der größte Kostenblock – werden stetig günstiger. Lag der Preis 2013 noch bei rund 700 Euro pro Kilowattstunde Speicherkapazität, sind es heute noch durchschnittlich rund 100 Euro. Für 2030 wird mit einem Preis von 70 Euro pro Kilowattstunde oder weniger gerechnet. Dadurch könnten Anschaffungskosten von Elektroautos und Verbrennern ab 2027 weitgehend gleichziehen – und das ohne staatliche Förderung.

Im laufenden Betrieb liegen BEV-Pkw aus Kostensicht bereits heute vorn:

- **Energiekosten:** Trotz der zuletzt gestiegenen Strompreise verursacht ein Mittelklasse-BEV-Pkw bei 15.000 Kilometern Jahreslaufleistung bis zu 900 Euro Stromkosten. Grundlage ist ein Energieverbrauch von durchschnittlich rund 20 kWh je 100 km. Ein vergleichbarer Verbrenner benötigt für dieselbe Strecke bis zu 1.800 Euro für Benzin. Zugrunde gelegt ist hier ein Verbrauch von 7 Liter Kraftstoff je 100 km zu je 1,80 €/l sowie ein Strompreis von aktuell 30 Cent/ kWh.
- **CO_2-Preis:** Dabei ist zu beachten, dass Benzin und Dieselpreise aufgrund der steigenden Kosten für CO_2-Zertifikate – die ab 2027 frei gehandelt werden – weiter steigen werden.
- **CO_2-Vermarktung:** BEV-Nutzer können ihre CO_2-Einsparungen gewinnbringend im Rahmen der gesetzlichen THG-Quote vermarkten. Das bringt aktuell rund 100 Euro pro Jahr.
- **Steuern:** Neu zugelassene BEV-Pkw sind bis 2030 von der Kfz-Steuer befreit, für Verbrenner sind etwa 200 bis 500 Euro pro Jahr fällig.
- **Wartung:** BEV-Pkw sparen im Vergleich zum Verbrenner rund ein Drittel der Wartungs- und Reparaturkosten, da Motor und Bremsen weniger verschleißen, die Batterie ein Fahrzeugleben lang hält und eine Abgasuntersuchung entfällt.

Fortschritte bei der Batterietechnologie

Batterien – das Herzstück des BEV-Pkw – werden nicht nur günstiger, sondern auch immer leistungsfähiger. Einige neue Fahrzeugmodelle schaffen bereits 700 bis 800 Kilometer Reichweite mit einer Ladung, erste Piloten auf Feststoff-Basis erzielten sogar über 1.000 Kilometer. Auch verbessert sich die Schnellladefähigkeit moderner Zellen. Dabei beeinträchtigt häufiges Schnellladen die Lebensdauer von Batterien immer weniger und winterliche Kälte schlägt nicht mehr so stark auf die Speicherkapazität durch.

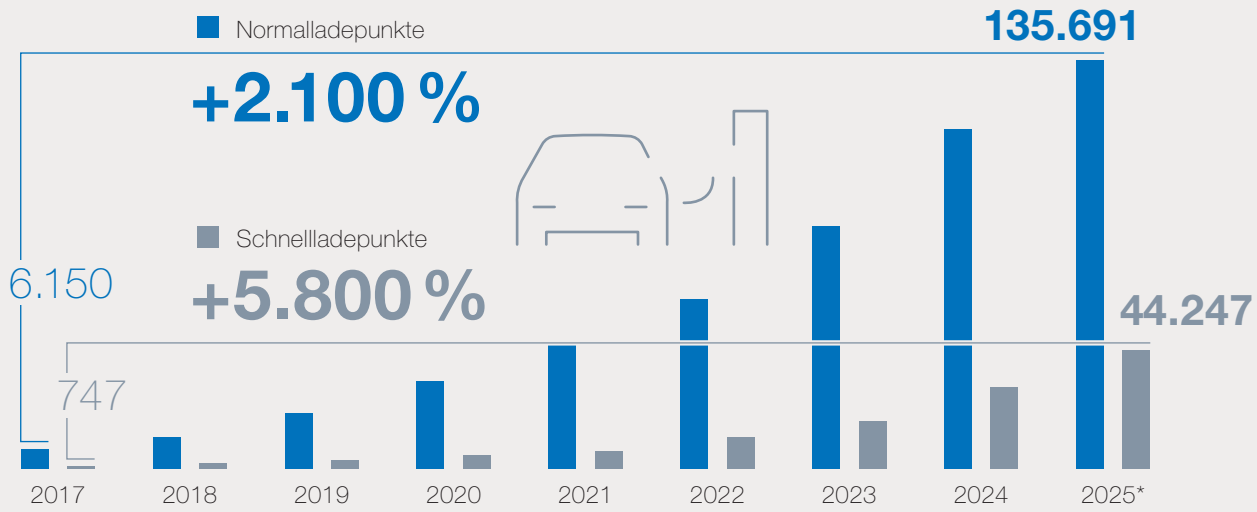
Ladeinfrastruktur und Alltagstauglichkeit

Das **Laden im Alltag** gilt für viele als Hürde, ist aber in der Praxis längst Routine. BEV-Pkw werden überwiegend dort geladen, wo sie ohnehin stehen – zu Hause, am Arbeitsplatz oder während des Einkaufs. Privatfahrzeuge werden im Schnitt etwa 23 Stunden am Tag nicht genutzt. Diese Standzeiten eignen sich perfekt zum Laden über Nacht, am Firmenparkplatz oder zuhause mit eigenem PV-Strom – ohne wahrgenommene Einschränkungen im Mobilitätsverhalten. Hier findet das Wechselstrom-Laden (AC) an der Wallbox (meist 11 kW) Anwendung, das sich für längere Standzeiten anbietet.

Gerade **im ländlichen Raum und in Vorstädten** verfügen viele Haushalte über eigene Stellplätze oder Garagen und können eine Wallbox installieren. Dadurch sinkt der Bedarf an öffentlichen Ladesäulen. Unterwegs sind öffentliche Ladepunkte in der Regel verfügbar. **In Ballungsräumen** spielt dagegen das „Destination Charging" eine wichtige Rolle, also das Laden an Alltagszielen wie Parkhäusern, Super- und Baumärkten. Gesetzlich vorgeschrieben ist seit 2025, dass größere Parkplätze mit Ladestationen ausgestattet sein müssen. Das beschleunigt den Ausbau zusätzlich, jedoch besteht hier nach wie vor ein hoher Ausbaubedarf.

Grafik 3: Massives Wachstum bei Ladepunkten

Die Zahl der öffentlichen Ladepunkte in Deutschland hat sich seit 2017 fast versechsfacht – auf knapp 180 000 Anschlüsse Anfang Oktober 2025. Besonders rasant wächst die Zahl Schnellladepunkte mit Leistungen über 150 kW.



* Oktober 2025; Quelle: Bundesnetzagentur

Insgesamt verfügt Deutschland über ein ausgesprochen dichtes und wachsendes Netz an Ladestationen. Im September 2025 waren in Deutschland über 177.000 öffentliche Ladepunkte in Betrieb, davon rund 44.000 Schnellladepunkte – ein massiver Zuwachs gegenüber 2020 (siehe Grafik 3).

Dabei wächst die **Schnellladeinfrastruktur** überdurchschnittlich und wird entlang aller Hauptverkehrsrouten mindestens alle 50 bis 70 Kilometer angeboten. Die Schnellladeinfrastruktur in Deutschland ist ausreichend vorhanden. In Umfragen zeigen sich über drei Viertel mit dem Ladenetz zufrieden. Die Gleichstrom-Schnellader (DC) ermöglichen schnelles Laden ab 150 kW auf Langstrecken, neueste High-Power-Chargers (HPC) gar Leistungen über 400 kW. Das Aufladen eines BEV-Pkw für rund 300 Kilometer Reichweite ist damit in etwa zehn Minuten zunehmend möglich – mehr und mehr vergleichbar mit einem klassischen Tankstopp.

Auch das **europäische Ladenetz** wächst kontinuierlich. 2024 gab es in der EU bereits 900.000 Ladepunkte. Mit der EU-Verordnung 2023/1804 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Alternative Fuels Infrastructure Regulation, AFIR) wird sich die Versorgung weiter verdichten: Bis Ende 2025 sollen im Ten-V Kernnetz an allen wichtigen Fernstraßen mindestens alle 60 Kilometer Schnellladehubs verfügbar sein. Diese Vorgaben sind zu über 90 Prozent erfüllt. Die Vorgaben an Ladeleistungen im Rahmen der AFIR wird sogar bereits zweifach übererfüllt. Einheitliche Steckerstandards (Combined Charging System, CCS 2) und kontaktloses Bezahlen per Karte, App oder Plug and Charge – wobei nur das Kabel eingesteckt werden muss – erhöhen Komfort und Transparenz.

Fahrverhalten überzeugt

Spontane Beschleunigung, geräuscharmer Antrieb, fließendes Fahrgefühl: BEV-Pkw bieten aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer Freude am Fahren. So sagen rund 80 Prozent derjenigen, die bereits ein Elektroauto genutzt haben, dass es ihnen (sehr) gut gefallen hat. Damit werden die in der Studie bereits dargestellten rationalen Faktoren zur Nutzung von BEV um individuelle und emotionale Aspekte ergänzt. Die steigende Anzahl an BEV-Pkw, vermehrte Probefahrten bei Autohändlern und die zunehmende Integration von Elektroautos im gewerblichen Flottenbetrieb werden dazu führen, dass immer mehr Menschen diese positiven Erfahrungen machen und die Akzeptanz weiter steigt.

> Die Akzeptanz der Elektromobilität wächst mit der Alltagserfahrung, der Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur und der Annäherung der Preise an konventionelle Fahrzeuge. Hier ist Deutschland auf einem guten Weg.

BEV-Lkw: Elektrifizierung in den Startlöchern

Während batterieelektrische Pkw im Alltag angekommen sind, steht der Straßengüterverkehr am Anfang seiner Transformation. Der Wandel ist unübersehbar: BEV-Lkw sind heute technisch einsatzfähig, erreichen Serienreife und werden zunehmend auch im Fernverkehr eingesetzt.

Parallel entsteht ein robustes Netz an Ladeinfrastruktur mit neuen Megawatt-Ladepunkten, die das elektrische Fahren auf langen Strecken ermöglichen. Aber auch der regionale und städtische Lieferverkehr eignet sich für den Umstieg – hier lassen sich Fahrzeuge bei kurzen Fahrten durch Depotladen weitreichend elektrifizieren. Hinzu kommen neue Formen der Kooperation: Intelligentes Lademanagement und Ladepartnerschaften senken Kosten, verbessern die Planbarkeit und schaffen Win-win-Situationen für Flottenbetreiber, Verlader und Energieversorger.

Leichte Nutzfahrzeuge: Wirtschaftlich attraktiv und ins Energiesystem integrierbar

Im leichten und mittleren Nutzfahrzeugsegment zeigt sich: Die Elektrifizierung ist längst wirtschaftlich attraktiv. Rund 90 Prozent aller Fahrten mit leichten Nutzfahrzeugen finden regional statt – ideale Voraussetzungen für den Umstieg auf batterieelektrische Modelle. Sie können über Nacht im Depot geladen werden und eignen sich besonders für die zunehmenden Lieferfahrten auf der „letzten Meile“ mit häufigen Start und Stops.

Mit einer Jahreslaufleistung von durchschnittlich 18.500 Kilometern verfügen leichte Nutzfahrzeuge über ausreichend Standzeiten für kostengünstiges „langsames“ Laden und bieten zugleich Potenzial für zusätzliche Erlöse: durch die Einbindung in Last- und Flottenmanagementsysteme, die Nutzung von PV- und Windüberschüssen und die Bereitstellung von Flexibilität über Batteriespeicher. Damit tragen elektrische Nutzfahrzeuge wie auch BEV-Pkw (siehe „Elektromobilität – neuer Akteur im Energiesystem der Zukunft“) nicht nur zur Dekarbonisierung des Verkehrs, sondern auch zur Stabilisierung der Stromnetze bei.

Schwere BEV-Lkw: Das Fahrzeugangebot wächst

BEV-Lkw haben sich zu einer realistischen Alternative im Fernverkehr entwickelt und bieten Reichweiten bis zu 500 Kilometern. Alle großen europäischen Lkw-Hersteller befinden sich im Serienhochlauf. Im ersten Halbjahr 2025 liegt der Anteil der neuzugelassenen schweren BEV-Lkw in Deutschland bei knapp 2 %. Im Vergleich zum Vorjahreszeitraum haben die absoluten Verkaufszahlen um rund 10 % nachgelassen. Damit zeigt sich der schwere BEV-Lkw deutlich robuster gegenüber Diesel-Lkw, der im Vergleichszeitraum um knapp 30 % eingebrochen ist. Zugleich wird erwartet, dass der Neuzulassungsanteil von BEV-Lkw bis 2030 auf rund ein Drittel steigen wird. Durch die CO_2-Bepreisung wird die Nachfrage deutlich angeregt werden, wenn ab 2027 der freie CO_2-Emissionshandel (ET2) den bisher festen CO_2-Preis ablöst. Statt 56 Euro pro Tonne (15 Cent pro Liter Diesel) könnte der Preis auf 80 Euro (21 Cent) steigen oder bei radikaleren Prognosen teils auf 300 Euro (80 Cent). Europaweit sind bereits rund 15.000 BEV-Lkw im Einsatz. Bis 2030 dürfte ihre Zahl auf bis zu 400.000 anwachsen. Damit etabliert sich eine Fahrzeugklasse, die lange als schwer zu elektrifizieren galt, zunehmend als wettbewerbsfähig und alltagstauglich.

Wirtschaftlichkeit und Betriebskosten

Für Logistikunternehmen ist die Elektrifizierung in erster Linie eine betriebswirtschaftliche Erwägung. Entscheidend ist, ob die höheren Investitionskosten für Fahrzeuge, die noch doppelt so teuer sind wie Diesel-Lkw, und für Ladeinfrastruktur durch geringere Betriebskosten kompensiert werden können. Ein schwerer Diesel-Lkw im Langstreckenverkehr verbraucht derzeit etwa 26 Liter Kraftstoff pro 100 Kilometer, ein vergleichbarer BEV Lkw jahreszeitabhängig etwa 110 – 130 kWh Strom. Bei überwiegendem Depotladen kann sich bereits 2025 ein Kostenvorteil für BEV-Lkw ergeben – weil Wartungskosten geringer sind und die Dieselmaut entfällt.

Der TCO-Kostenvergleich variiert je nach Fahrzeugklasse

- **Leichte Nutzfahrzeuge (bis 7,5 Tonnen) und mittelschwere Lkw (7,5 – 18 Tonnen):** Die Kostenparität kann je nach Ladeverhalten bereits erreicht sein.
- **Schwere Lkw (bis 40 Tonnen):** Ein Kostenvorteil für BEV-Lkw wird ab einer jährlichen Fahrleistung von mehr als 100.000 Kilometern und hohem Anteil an Mautstrecken innerhalb weniger Jahre erreicht. Darüber hinaus ermöglichen Ausnahmen von Nachtfahrverboten kürzere Lieferzeiten und neue Geschäftsmodelle.

BEV-Stadtbusse: Fortschreitende Elektrifizierung

Während der Markt für batterieelektrische Lkw in Europa noch in einer frühen Phase steckt und die Gesamtbetriebskosten (TCO) im Vergleich zu Dieselantrieben derzeit meist höher ausfallen, zeigt sich bei Stadtbussen ein deutlich fortgeschritteneres Bild der Elektrifizierung. Rund die Hälfte (49 %) aller neu zugelassenen Stadtbusse in der EU waren 2024 bereits emissionsfrei, eine Erfolgsgeschichte des „European Green Deals“. Treiber sind die neue EU-Verordnung für saubere Fahrzeuge sowie kommunale Maßnahmen wie emissionsfreie Zonen und verbindliche Flottenziele. Letzteres hat den Umstieg auf emissionsfreie Stadtbusse deutlich stärker vorangetrieben als EU-Richtlinien. Setzt sich dieses Wachstum fort, könnten Stadtbusse gemäß Einschätzungen in Europa bereits bis 2027 vollständig emissionsfrei verkehren.

Auch wirtschaftlich erreichen batterieelektrische Busse (BEB) in Deutschland inzwischen TCO-Parität: Ein 12 m langer, im Depot geladener BEB mit einer Jahresfahrleistung von rund 70.000 km kann bei Strompreisen unter 0,20 €/kWh und Dieselpreisen von 1,50 bis 1,80 €/l bereits 2025 mit konventionellen Fahrzeugen gleichziehen oder sie sogar unterbieten – insbesondere bei Laufzeiten von 12 bis 15 Jahren und marktüblicher Finanzierung.

Ladeinfrastruktur und Alltagstauglichkeit

Die EU treibt mit der AFIR-Verordnung den Ausbau der Ladeinfrastruktur massiv voran: Bis 2030 soll entlang aller Haupthandelsrouten alle 60 bis 100 Kilometer eine Ladestation mit mindestens 350 kW Leistung verfügbar sein, die den Lkw-Fahrern schnelles Laden in Ruhezeiten ermöglicht. Ergänzt wird die Infrastruktur durch zusätzliche Ladepunkte an Parkplätzen und städtischen Knoten. In Deutschland existieren bisher rund 215 öffentlich zugängliche BEV-Lkw Ladepunkte. Weitere 350 Standorte mit über 4.200 Ladepunkten sind entsprechend des Deutschlandnetzes an Bundesautobahnen im Lkw-Schnellladenetz bis 2030 geplant. Für den Netzanschluss der Ladeinfrastruktur müssen Flottenbetreiber rund fünf Jahre Vorlauf einplanen, wenn Sie mehr als 1 MW Ladeleistung benötigen. Kleinere Netzanschlüsse lassen sich meist in rund zwei Jahren realisieren.

Intelligentes und kooperatives Lademanagement

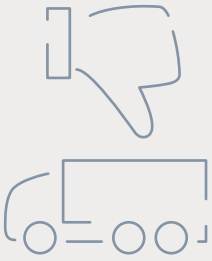
Aufgrund eines sich aktuell noch im Aufbau befindlichen Ladenetzes für BEV-Lkw rücken innovative Lösungen in den Vordergrund. Eine davon ist das **integrierte Lademanagement (ILM).** Es verbindet Echtzeit-Fahrzeugdaten (Ladezustand, Standort, Routenplan) mit Informationen über Netzlast, Verfügbarkeit und Strompreise.

So lassen sich:

- teure Spitzenlastgebühren vermeiden,
- Betriebsausfälle reduzieren,
- Batterien schonender laden,
- die erforderliche Anschlussleistung senken.

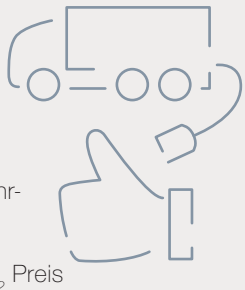
Parallel dazu entstehen **Ladepartnerschaften,** bei denen mehrere Logistikunternehmen gemeinsam Ladeinfrastruktur nutzen. Die Öffnung privater Ladeinfrastruktur für Dritte steigert die Auslastung der Infrastruktur von durchschnittlich fünf bis zehn Prozent auf ein wirtschaftlich tragfähiges Niveau und kann die TCO pro Kilometer um bis zu 30 Prozent senken.

Grafik 4: Argumente für eine zunehmende Wettbewerbsfähigkeit von BEV-Lkws in Hinblick auf Wirtschaftlichkeit (TCOs)



Gegenargumente für Diesel

- Steigende Energie- und CO_2-kosten
- Anstehendes „Verbrenner-Aus“



Positivargumente für BEV-Lkw

- Skalierungseffekte bei Nutzfahrzeugen und Ladeinfrastruktur
- Mautbefreiung und „kein“ CO_2 Preis
- Energiewirtschaftliche Use-Cases (die den steigenden Energiepreisen entgegenwirken)
- Weitere Fortschritte in der Fahrzeug-/Batterieentwicklung

Wie steht es um die Elektrifizierung im Bahnsektor?

Rund **90 Prozent der Verkehrsleistung** des deutschen Schienenverkehrs werden vollelektrisch erbracht – der Rest mit Diesel oder Nischen- bzw. Übergangstechnologien wie Batterie- oder Wasserstoffhybridfahrzeugen. Bereits seit über 100 Jahren werden Fahrleitungen gebaut und weiterentwickelt.

Das **CO_2-Einsparpotenzial** beträgt bis zu 90 Prozent gegenüber Dieselzügen – vorausgesetzt, sie werden mit erneuerbarem Strom betrieben. Aber bereits der heutige Strommix reicht aus, um erhebliche CO_2-Reduktionen zu erreichen. Die Instandhaltungskosten für eine Fahrleitungsanlage belaufen sich auf weniger als 0,5 Prozent des Invests.

Im Regionalverkehr werden keine neuen Dieseltriebzüge ausgeliefert, auch bei Lokomotiven und Sonderfahrzeugen für die Instandhaltung hat die Hybridisierung längst begonnen. Im schienengebundenen ÖPNV (Straßen-, Stadt- und U-Bahnen) gibt es **ausschließlich elektrisch angetriebene Fahrzeuge.** Der gesamte Bahnsektor ist beim Fahrantrieb auf dem Weg zu 100 Prozent elektrischem Verkehr, ein hoher Rückspeisegrad von Bremsenergie eingeschlossen. Im Stadtverkehr sind sogar über 50 Prozent Energierekuperation realisierbar. Am Beispiel des Bahnsektors lässt sich der Erfolg der Elektrifizierung erkennen und daraus ableiten, was künftig im Straßenverkehr möglich sein wird.

BEV-Lkw sind heute technisch einsatzfähig und zeigen im Flottenbetrieb stabile Leistungswerte. Für eine flächendeckende Umstellung sind jedoch noch Anpassungen bei Ladeinfrastruktur, Netzanschlüssen und Betriebskonzepten erforderlich. Perspektivisch bietet die Elektrifizierung von Nutzfahrzeugen insbesondere im Schwerlastbereich ein enormes Potenzial, Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit zu verbinden sowie in Hinblick auf Anwendungen wie beispielsweise intelligentes oder bidirektionales Laden.

Klimabilanz und Rohstoffe

Für die gesellschaftliche und politische Akzeptanz der Elektromobilität ist ihr ökologischer Fußabdruck ein zentraler Faktor. Neben der CO_2-Bilanz rücken zunehmend Fragen der Rohstoffverfügbarkeit und des Recyclings in den Fokus.

Klimabilanz über Rohstoff-, Fertigungs- und Nutzungsphase

Effizienzgewinne beim Verbrennungsmotor und bei hybriden Antrieben haben den realen Kraftstoffverbrauch von Pkw in Deutschland in den vergangenen drei Jahrzehnten nur begrenzt gesenkt: Gegenüber 1995 ist er nur um etwa 12 Prozent gesunken – Hybride eingeschlossen. Entsprechend verfehlt der Mobilitätssektor auch regelmäßig die Ziele des Klimaschutzgesetzes.

Wesentlich positiver ist die Entwicklung bei batterieelektrischen Fahrzeugen. Einschließlich aller Vorketten- und Nutzungsverluste verursachen BEV pro Kilometer heute fast 60 Prozent weniger CO_2-Emissionen als ein vergleichbarer Verbrenner (siehe Grafik 5). Mit wachsendem Anteil Erneuerbarer Energien – und Nutzungsmustern wie PV-Überschuss-, Nacht- sowie perspektivisch bidirektionalem Laden (siehe „Elektromobilität – neuer Akteur im Energiesystem der Zukunft“) – wird sich diese Bilanz weiter verbessern: Je nach Szenario können die spezifischen CO_2-Emissionseinsparungen bis 2030 auf bis zu 78 Prozent steigen.

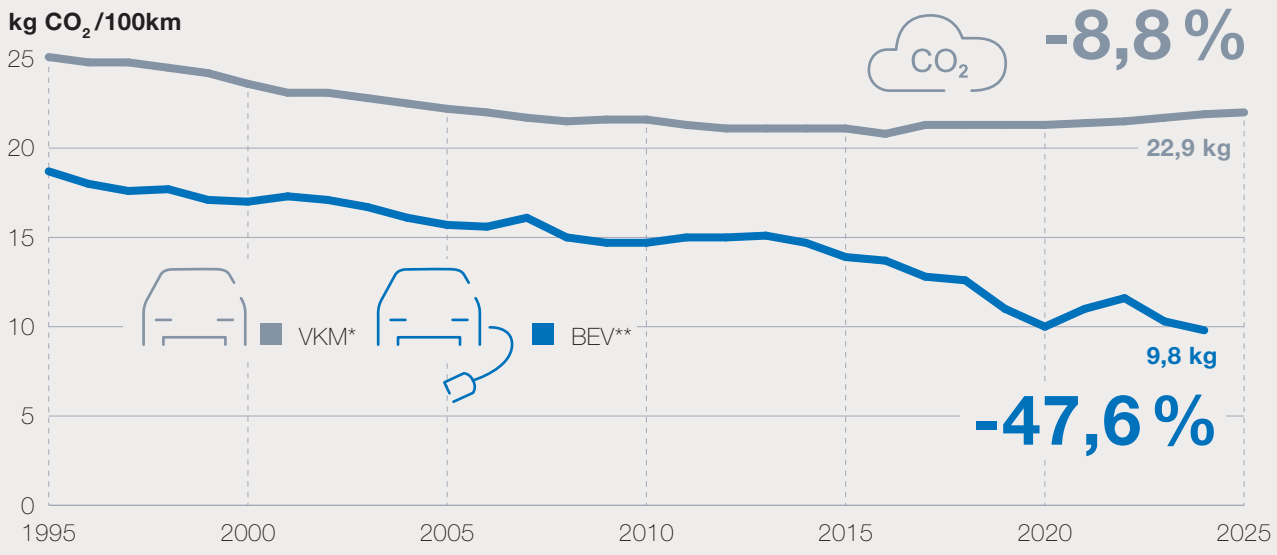
Ein Vergleich über den gesamten Pkw-Lebenszyklus mit einer Fahrleistung von 150.000 Kilometern in Deutschland verdeutlicht den Vorteil bei der Klimabilanz:

- **Verbrenner-Pkw:**
  ca. 40 Tonnen CO_2-Emissionen
- **BEV-Pkw mit deutschem Strommix:**
  ca. 24 Tonnen CO_2-Emissionen

Dabei sind die Produktion des Fahrzeugs, der Kraftstoffe und des Stroms inklusive der Vorkette sowie Netz- und Ladeverluste berücksichtigt. Zwar verursacht die energieintensive Batterieproduktion anfangs höhere CO_2-Emissionen, diese werden jedoch nach wenigen Jahren der BEV-Pkw Nutzung ausgeglichen (siehe Grafik 6). Der sogenannte Break-Even-Punkt wird nach 30.000 bis 50.000 Kilometern erreicht.

Grafik 5: Klimaschutz braucht Elektromobilität

Direkte und indirekte CO_2-Emissionen durchschnittlicher Pkw in Deutschland

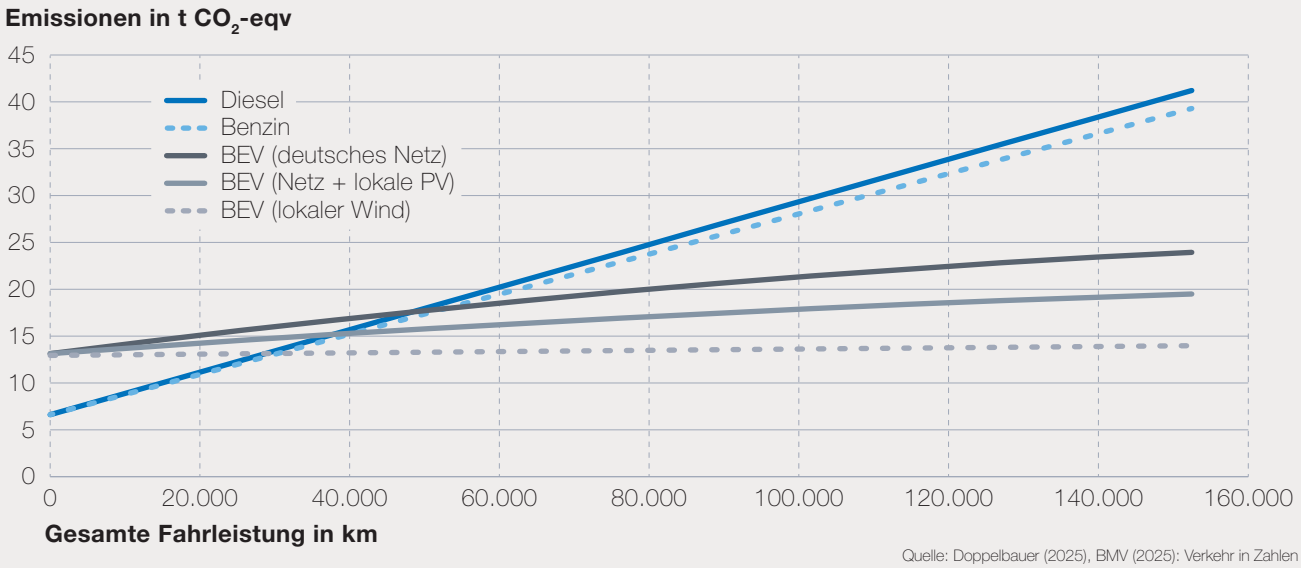


* Diesel & Otto incl. Hybride, mit Vorkette; ** mit Vorkette, inkl. 15% Ladeverlusten, inkl. Netzverlusten

Quelle: Doppelbauer (2025), BMV (2025): Verkehr in Zahlen

Grafik 6: Break-Even-Punkt wird früh im Lebenszyklus erreicht

Vergleich der Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen von BEV und Verbrennerfahrzeugen



Quelle: Doppelbauer (2025), BMV (2025): Verkehr in Zahlen

Wasserstoff und E-Fuels keine gleichwertigen Alternativen

In der öffentlichen Diskussion werden Wasserstoff (H_2) und synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) häufig als Alternativen zu BEVs genannt. H2 und E-Fuels schneiden bei den CO_2-Lebenszyklusemissionen zwar besser ab als herkömmliche Verbrenner, aber eindeutig schlechter als BEVs. Die Gründe:

Wasserstoff-Pkw …

- haben eine geringere Gesamteffizienz,
- benötigen rund viermal mehr elektrische Energie pro Kilometer als BEVs,
- sind in Herstellung und Infrastruktur deutlich teurer.

E-Fuels…

- verbrauchen sechs- bis achtmal mehr elektrische Energie pro Kilometer als BEVs,
- verursachen selbst bei grünem Strom hohe indirekte Emissionen,
- sind teuer, weil technisch komplex in Produktion und Transport,
- werden bislang nur in experimentellen Pilotanlagen hergestellt,
- reduzieren keine lokalen Emissionen – Lärm, Feinstaub und Geruch bleiben auf dem Niveau konventioneller Verbrenner.

Vergleich kritischer Rohstoffe bei BEV-, Verbrenner-, E-Fuel- und H_2-Pkw

Der Hochlauf der Elektromobilität wird in Europa nicht an knappen Rohstoffen scheitern. Technologische Entwicklungen, Materialsubstitution und steigende Recyclingquoten verringern die Abhängigkeit von Primärrohstoffen und senken die Batteriekosten (siehe Grafik 7).

Lithium

Der weltweite Abbau von Lithium beträgt rund 240.000 Tonnen pro Jahr, Tendenz steigend. Die wirtschaftlich abbaubaren Reserven belaufen sich auf 30 Millionen Tonnen. Insgesamt sind 150 Millionen Tonnen nachgewiesen, davon vier Millionen in Deutschland. Hauptproduzenten sind heute Australien, Chile und China. Neue Technologien wie Natrium-Ionen-Batterien (NIB) kommen ohne Lithium aus.

Seltene Erden

Neodym, Dysprosium und teilweise Terbium werden zur Herstellung von leistungsfähigen Permanentmagneten in bestimmten Elektromotoren, in Elektroautos und in Windturbinen verwendet. Es stehen alternative Technologien bereit, um völlig ohne Seltene Erden Hochleistungsmotoren zu bauen, einige Hersteller verwenden diese bereits. In Batterien werden keine Seltenen Erden verwendet.

Grafik 7: Rohstoffsorgen weitgehend unbegründet

Eine vergleichende Übersicht der erforderlichen Rohstoffe von BEV und VKM-Pkw liefert die folgende Tabelle:

Rohstoff für BEV-Pkw in kg	heute		2030		2035	VKM-Pkw in kg
Lithium	8,50	→	8,50	↓	0,00	0,00
Nickel	* 50,00	↓	** 0,00		*** 0,00	0,50
Kobalt	* 10,00	↓	** 0,00		*** 0,00	0,10
Kupfer	85,00	→	85,00	↘	30,00	25,00
Platinmetalle	**0,00**		**0,00**		**0,00**	0,01
Rohöl	**0,00**		**0,00**		**0,00**	**** 15.000,00
Seltene Erden	0,6 (PSM 95% Marktanteil)	↘	0,3 (PSM 50% Marktanteil)	↓	0,00 (EESM + ASM)	

* bei NCMA; ** bei LFP; *** bei SIB [20]; **** auf 150 Tsd. km

Quelle: Hill et.al. (2023): Environmental challenges through the life cycle of battery electric vehicles. EU-Studie.

Kobalt

Der weltweite Kobaltabbau liegt bei rund 290.000 Tonnen pro Jahr, vor allem im Kongo und in Indonesien. Die Reserven werden auf etwa 7,2 Millionen Tonnen geschätzt. Kobalt wird in der Elektromobilität nur in bestimmten Lithium-Ionen-Batterietypen eingesetzt. Der Anteil kobaltfreier Lithium-Eisenphosphat-Batterien lag 2024 bereits bei etwa 40 Prozent und wird weiter steigen. In wenigen Jahren werden die meisten neuen BEVs vollständig kobaltfrei sein.

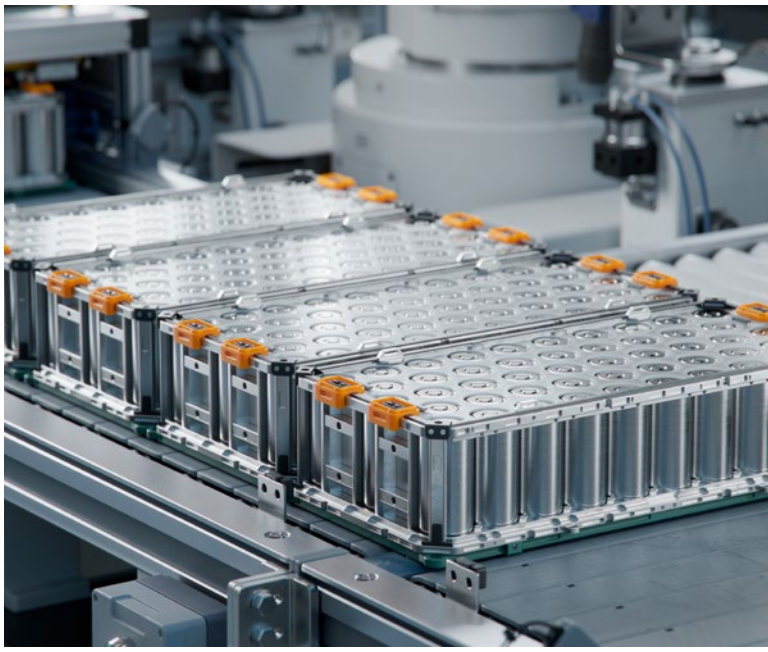
Kupfer

Weltweit gibt es rund sechs Milliarden Tonnen Kupferreserven, der jährliche Abbau liegt bei etwa 23 Millionen Tonnen – vor allem in Chile, Kongo und Peru. Die Reserven reichen bei heutigem Bedarf für etwa 250 Jahre. Kupfer lässt sich sehr gut recyceln. In Europa stammt bereits rund die Hälfte des Kupfers aus Recycling.

Zweites Batterieleben und Recyclingziele

Hinzu kommt, dass Batterien zunehmend zweitverwertet und die verbauten Rohstoffe recycelt werden. So regelt die EU-Batterieverordnung den gesamten Lebenszyklus von Batterien in Elektrofahrzeugen – von der Herstellung bis zum Lebensende. Dabei schafft sie Anreize für die Weiterverwendung beziehungsweise Zweitnutzung (Battery Second Life) etwa als stationäre Speicher in Gebäuden oder Netzen. Anschließend greift eine Recyclingpflicht: Bis Ende 2027 müssen mindestens 90 Prozent des Kobalt-, Kupfer-, Blei- und Nickelgehalts sowie 50 Prozent vom Lithiumanteil einer Batterie zurückgewonnen werden; ab 2031 steigen die Quoten auf 95 bzw. 80 Prozent. Zudem müssen neue Batterien perspektivisch Mindestanteile recycelter Materialien enthalten, wodurch die Rohstoffsouveränität Europas gestärkt wird.

BEV sind deutlich klimaschonender als Verbrenner. Bei der Frage zu den verfügbaren Rohstoffen bleibt festzuhalten: Die vielfach kommunizierten Sorgen sind unbegründet, an den Rohstoffen wird der Hochlauf der Elektromobilität nicht scheitern.



Handlungsempfehlungen

Der Erfolg der Elektromobilität hängt vor allem von verlässlichen politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen ab. Sie bestimmen, ob Innovationen in den Markt kommen, Ladeinfrastruktur ausgebaut wird und Nutzer Vertrauen fassen.

Deutschland und Europa verfügen über die technologischen Voraussetzungen – nun gilt es, Planungssicherheit und marktwirksame Anreize zu schaffen. Um das volle Potenzial der Elektromobilität bis 2030 für das Energiesystem nutzbar zu machen, sind mehrere Schritte entscheidend (siehe Grafik 8):

1. Politische Unterstützung sichern

Die ambitionierten CO_2-Flottengrenzwerte für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und Lkw treiben den Hochlauf der E-Mobilität herstellerseitig voran. Die Übergangsphase mit gelockerten Grenzwerten bis 2027 sollte für eine klare Kommunikation und politische Signale genutzt werden, um das Vertrauen der Nutzer und Unternehmen in die Elektromobilität zu sichern. Besonders im Kontext der Logistik bedarf es einer klaren Linie, um die Elektrifizierung zu beschleunigen.

2. Ladeinfrastruktur ausbauen

Eine flächendeckende Ladeinfrastruktur ist das Rückgrat der Elektromobilität. Die vollständige Umsetzung der AFIR-Verordnung ist dabei zentral: Sie schreibt ein europaweit zugängliches, einheitlich nutzbares Ladenetz vor. Ab 2027 sollen alle neuen und modernisierten Ladepunkte auch die ISO 15118-20 einhalten, um den neuesten Stand der Technik abzubilden. Private Investitionen sollten nicht durch bürokratische Hürden gehemmt werden.

3. Einfaches, günstiges Laden für alle ermöglichen

Laden muss für alle Nutzergruppen unkompliziert, fair und kostengünstig sein. Preisvorteile aus dynamischen Tarifen und variablen Netzentgelten müssen direkt bei den Nutzern ankommen. Das gelingt nur, wenn das optimierte Laden für den Nutzer automatisiert abläuft. Ein einheitlicher Zugang zu Ladeinfrastruktur inklusive Preistransparenz und Plug-and-Charge-Standards sind gesetzlich zu verankern.

Grafik 8: Fahrplan für die smarte Netzintegration

Damit Elektrofahrzeuge ihr volles (energie-)wirtschaftliches Potenzial als Flexibilität entfalten, braucht es eine Anpassung regulatorischer und politischer Maßnahmen.

1 bis 3 Jahre

Marktvorbereitung

- Umsetzung von Pilotprojekten mit marktfähigen Anwendungen
- Validierung von Geschäftsmodellen
- Prüfung der Auswirkungen auf das Energiesystem

3 bis 5 Jahre

Marktentwicklung

- Etablierung eines einheitlichen und praxistauglichen Rechtsrahmens
- Anpassung der Netzentgelte, Netzanschlussbedingungen (DE) & Konzessionsabgabenverordnung

Ab 5 Jahren

Marktdurchdringung

- Roll-Out digitaler Prozesse
- Integration interoperabler Produkte und Services
- Anpassung der Netzanschlussbedingungen (Europa fortlaufend)

4. Standards verbindlich nutzen

Noch immer sind viele technische Datenpunkte und -Schnittstellen zwischen Fahrzeug, Ladeinfrastruktur und IT nicht interoperabel und bieten Interpretationsspielräume. Die im Idealfall europaweite Standardisierung in technischen und regulatorischen Aspekten stellt einen wesentlichen Stellhebel für Geschäftsmodelle und Akzeptanz dar. Für eine funktionierende Systemintegration braucht es einheitliche Protokolle, offene Standards und sichere Kommunikation. Konkret heißt das:

- konsequente Nutzung offener Schnittstellen,
- digitale Vernetzung von Fahrzeug, Netzbetreiber, Ladepunkt und Marktakteuren,
- Erfassung und Austausch von Netzzuständen in Echtzeit,
- klare Zuständigkeiten für Steuerung, Koordination und Anreizmechanismen.

5. Netzausbau und -anschluss beschleunigen

Der Netzausbau bleibt ein Engpass mit Realisierungsdauern von mehreren Monaten bis einigen Jahren. Netz- und Ladeinfrastruktur müssen entlang der transeuropäischen Transportnetzkorridore koordiniert geplant und Netzanschlüsse vereinheitlicht werden. Ausbauziele brauchen verbindliche Fristen und Monitoring. Bei der Flächenbereitstellung sind Länder und Kommunen gefordert, geeignete Standorte für Ladeparks zu identifizieren und zugänglich zu machen. Im Güterverkehr stoßen kleine und mittlere Speditionen auf hohe Anfangsinvestitionen und lange Zeiten für den Netzanschluss – hier braucht es gezielte Förderung und vereinfachte Genehmigungsverfahren.

6. Systemintegration marktwirksam machen

Elektromobilität entfaltet ihren Systemnutzen nur mit klaren Preissignalen und digitaler Mess- und Steuerbarkeit. Dafür braucht es marktorientierte Preisanreize und eine digitale Infrastruktur, die den Zugang zu dynamischen Tarifen und netz- sowie systemorientiertem Laden ermöglicht. Regulatorische Vorgaben sollten dabei ausreichend Spielraum für verschiedene technische Lösungswege lassen und sich auf eine Festlegung von Mindeststandards zur Teilnahme am Energiemarkt beschränken. Denn entscheidend ist die netzverträgliche Integration von BEVs sowie deren Beitrag zur Flexibilitätsnutzung und nicht technische Detailausprägungen.

7. Sinnvolle Anreize durch weiterentwickelte Netzentgelte setzen

Die Überarbeitung der Netzentgeltsystematik ist zentral, um Elektromobilität kosteneffizient ins System zu integrieren. Der sogenannte AgNeS-Prozess (Allgemeine Netzentgeltsystematik Strom) bildet die Basis für regional angeglichene Netzentgelte auf Verteilnetzebene und neue Entgeltkomponenten. Ziel ist eine dynamische Kostenstruktur, die flexible Verbraucher belohnt. Komplexe Tarife und geringe Einsparpotenziale schrecken derzeit noch viele Nutzer ab. Einfachheit, Transparenz, Diskriminierungsfreiheit und Komfort müssen deshalb Leitprinzipien künftiger Preisgestaltung sein.

8. Bidirektionales Laden ermöglichen

Das gesteuerte Laden wird in absehbarer Zeit zum Schlüsselfaktor für das Energiesystem – das bidirektionale Laden wird mittelfristig zur systemischen Optimierung notwendig. Dafür braucht es klare rechtliche Grundlagen und Anreize. Um praxisnahe Erkenntnisse zu gewinnen, sollten Pilotprojekte gefördert und Erfahrungen daraus genutzt werden (Experimentierklauseln). Rechtliche Hürden sind zu klären, zum Beispiel für das Laden beim Arbeitgeber in einem Netz und das Rückspeisen zu Hause in einem anderen Netz. Mobile Speicher dürfen bei den Netzentgelten nicht mehr doppelt belastet werden. Technische Standards für bidirektionales Laden müssen weiterentwickelt und europäisch abgestimmt werden.

9. Batterieforschung stärken

Die Stärkung des Forschungs- und Innovationsstandorts Deutschland ist entscheidend, um bei Batterietechnologien international wettbewerbsfähig zu bleiben. Erforderlich ist der Ausbau nationaler und europäischer Forschungsinitiativen für Feststoffbatterien und effiziente Fertigung. Strategische Kooperationen mit internationalen Vorreitern – auch im Hinblick auf Normung und Zertifizierung sowie Recycling und Wiederverwendung – sind zu intensivieren. Ziel muss ein europäisches Standardisierungs-Ökosystem für Elektromobilität sein.

10. Zielgruppengerecht kommunizieren

Die Akzeptanz der Elektromobilität variiert je nach Zielgruppe. Diese müssen gezielt angesprochen werden. Dabei ist die Erfahrung der beste Überzeugungsweg. Elektromobilität muss als selbstverständlicher Teil des Alltags wahrgenommen werden. So kann eine breite gesellschaftliche Akzeptanz erreicht werden.

Die Elektromobilität ist keine Zukunftstechnologie mehr, sondern ein entscheidender Bestandteil der Energie- und Verkehrswende. Jetzt gilt es, ihre Potenziale entschlossen zu nutzen.

Quellenübersicht

Elektromobilität als aktive Komponente im Energiesystem

- Stemmer, Daniel. (2024). Direktnutzung von Überschüssen aus Erneuerbaren Energien in der Elektromobilität. DOI: 10.13140/RG.2.2.16019.28964
- Fraunhofer ISE & Fraunhofer ISI. (2024). Potential of a full EV-power-system integration in Europe. Studie im Auftrag von Transport & Environment. Abgerufen von https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2024_10_Study_V2G_EU-Potential_Final.pdf
- Guéret, A., Gaete-Morales, C., & Schill, W.-P. (2025). A moderate share of V2G outperforms large-scale smart charging. arXiv Preprint. Abgerufen von https://arxiv.org/abs/2509.15284
- Schlund, J., German, R., & Pruckner, M. (2022). Synergy of Unidirectional and Bidirectional Smart Charging: A Simulation Study. World Electric Vehicle Journal, 13(9), 168. https://doi.org/10.3390/wevj13090168
- Siemens AG. (2023). Case study: V2G in Munich 2030. Abgerufen von https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3fce5877-d55c-4908-b0c1-8e034682f1ac/20230824-case-study-v2g-in-munich.pdf
- Striani, F., et al. (2024). Flexibility potential quantification of electric vehicle smart charging. Energy Reports, 10, 10456–10470. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/350941011/Thesis_Quantifying_the_flexibility_potential_of_electric_vehicles_smart_charging.pdf
- Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). (2023). Fahrleistung und Fahrzeugbestand in Deutschland 2023. Flensburg: KBA.
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (Ifeu). (2023). Trends der Pkw-Fahrleistung in Deutschland. Heidelberg: Ifeu.

BEV-Pkw: Kundenakzeptanz und Ladeinfrastruktur

- BDEW – „Über 160.000 öffentliche Ladesäulen sind in Deutschland installiert“, ErneuerbareEnergien.de (03.06.2025) – Statistik zum Ausbaustand der Ladeinfrastruktur in Deutschland (Anzahl Ladepunkte, Zuwachsrate, Schnellladepunkte, Auslastung).
- PAYUCA Blog – „Ein Fahrzeug steht im Durchschnitt 23 Stunden…“ (28.02.2022) – Hinweis auf lange Standzeiten von Privat-Pkw und Möglichkeit des langsamen Ladens im Alltag
- E.ON-Umfrage 2025 – Zusammengefasst in GoingElectric News „So laden E-Autofahrer 2025 wirklich“ (23.06.2025) – Ergebnisse zu Ladegewohnheiten (Anteil Laden zuhause, Unterschiede Stadt/Land)
- ADAC – „Feststoffbatterie: Ist das die Zukunft im Elektroauto?“ (23.04.2025) – Bericht über neue Batterie-Technologien, u.a. Feststoff-Prototyp mit >1000 km Reichweite und Aussicht auf halbierte Ladezeiten
- World Economic Forum – „New EU law requires fast-charging stations at every 60 kilometers by the end of 2025“ (27.07.2023) – Überblick zur EU-Verordnung für europaweiten Ladeinfrastruktur-Ausbau (HPC alle 60 km, Zielmarken 2025/2030, 1 Mio. Ladepunkte)
- REEV – „Destination Charging: Die Zukunft des Ladens von Elektrofahrzeugen“ (12.08.2025)
- Euroshop Retail Trade Fair - “E-charging stations at supermarkets: why it's worth investing now for retailers” (09.07.2025)
- Bundesnetzagentur: Elektromobilität - Öffentliche Ladeinfrastruktur – „Ladeinfrastruktur in Zahlen (Stand: 01. Oktober 2025)“ (29.10.2025)
- ADAC Kostenvergleich - (04.2025) E-AutosVergleich_35.pdf
- BDEW Elektromobilitätsmonitor 2025 – Mai 2025 - https://www.bdew.de/media/original_images/2025/09/15/250906_bdew-elektromobilitatsmonitor-ausgabe-7-1_JPCOamQ.pdf
- Bloomberg New Energy Finance (BNEF)

BEV-Lkw: Elektrifizierung des Güterverkehrs

- Dena 07/2025: Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Lkw – Herausforderungen und Lösungsansätze
- Göckeler, K. et al. (2023): StratES – Szenarien für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs. Studie auf Basis von Markthochlaufmodellierungen. Dritter Teilbericht des Forschungs- und Dialogvorhabens StratES. Berlin: Öko-InstitutDeutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2025) „Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Lkw – Herausforderungen und Lösungsansätze“
- Collective Power: Fueling The Future of Heavy-Duty Electric Vehicles with Community Charging Hubs“, e-Embarque 2024

Klimabilanz und Rohstoffverfügbarkeit

- Lauf, T. et al. (2025): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Umweltbundesamt.
- Doppelbauer, M. (2025): Grundlagen der Elektromobilität. Springer Verlag.
- Statista (2025): Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2006 bis April 2025.
- DLR, Institut für Verkehrsforschung (2025): Verkehr in Zahlen 2024/2025. Herausgeber Bundesminis-terium für Digitales und Verkehr
- Umweltbundesamt: Energieverbrauch und Kraftstoffe. 2025.
- Hill et.al. (2023): Environmental challenges through the life cycle of battery electric vehicles. EU-Studie. https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2023)733112
- Nichols, Conrad (2025): Second-life Electric Vehicle Batteries 2025-2035: Markets, Forecasts, Players, and Technologies. https://www.idtechex.com/en/research-report/second-life-ev-batteries-2025/1056
- Kupfer: Ressourcenschonung dank Recycling: https://kupfer.de/kupferwerkstoffe/nachhaltigkeit/recycling/ (06.10.2025)
- ECO*Journal: Die wichtigsten Fragen zu Lithium: https://www.enbw.com/unternehmen/themen/elektromobilitaet/lithium-umweltfreundlich-gewinnen.html (06.10.2025)
- Fraunhofer Institut: Battery Update – Recycling capacities for lithium-ion batteries will exceed demand in Europe for the time being: https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/batterie-recycling_europa_kapazitaeten_bedarf_update_2025.html
- Electrive Batterie: Renault: 99 Prozent aller Zoe-Akkus noch einsatzfähig: https://www.electrive.net/2022/05/10/renault-99-prozent-aller-zoe-akkus-noch-einsatzfaehig/

Handlungsempfehlungen

- FfE (2025): Technical Framework Conditions for Demand-Side Flexibility: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. DOI: 10.34805/ffe-11-25FfE (2025): V2G-Potenziale freisetzen: Von Hürden zu Lösungen

Über die Energietechnische Gesellschaft im VDE (VDE ETG)

Die Energietechnische Gesellschaft im VDE (VDE ETG) bündelt mit über 9.000 Mitgliedern die Fachkompetenz der Energietechnik von der Erzeugung, Übertragung, Verteilung bis hin zu den vielfältigen Anwendungsfeldern. Das umfangreiche Expert*innenwissen der rund 300 ehrenamtlichen Mitarbeiter*innen aus Industrie, Forschung, Versorgungsunternehmen, Hochschulen und Behörden, die in Fachbereichen, Fachausschüssen und Arbeitskreisen mitwirken, bildet die technisch-wissenschaftliche Basis für Veranstaltungen und Publikationen der Energietechnischen Gesellschaft im VDE.

Mehr Informationen unter https://www.vde.com/etg

Über den VDE

Der VDE, eine der größten Technologie-Organisationen Europas, steht seit mehr als 130 Jahren für Innovation und technologischen Fortschritt. Als einzige Organisation weltweit vereint der VDE dabei Wissenschaft, Standardisierung, Prüfung, Zertifizierung und Anwendungsberatung unter einem Dach. Das VDE Zeichen gilt seit mehr als 100 Jahren als Synonym für höchste Sicherheitsstandards und Verbraucherschutz. Wir setzen uns ein für die Forschungs- und Nachwuchsförderung und für das lebenslange Lernen mit Weiterbildungsangeboten „on the job“. Im VDE Netzwerk engagieren sich über 2.000 Mitarbeiter*innen an über 60 Standorten weltweit, mehr als 100.000 ehrenamtliche Expert*innen und rund 1.500 Unternehmen gestalten im Netzwerk VDE eine lebenswerte Zukunft: vernetzt, digital, elektrisch.

Wir gestalten die e-diale Zukunft.

Sitz des VDE (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e.V.) ist Frankfurt am Main.
Mehr Informationen unter www.vde.com

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.
Energietechnische Gesellschaft (ETG)

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel. +49 69 6308-346
etg@vde.com

VDE