



Elektroautos als nachhaltige Alternative? Eine Analyse der ökologischen Auswirkungen

*Dokumentation der schulischen Projektarbeit im
Rahmen des einjährigen Berufskollegs*

Name	Marc von Gehlen
Abgabe Datum	09. April 2025
Schule	Katholisches Kolleg Freiburg
Fach	Projekt
Klasse	BK1
Ansprechpartner	Frau Bamberger
Anschrift	-
E-Mail	-
Telefonnummer	-

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	4
1.1 Hintergrund und Relevanz	4
1.2 Fragestellung und Zielsetzung	4
1.3 Methodisches Vorgehen	5
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN	5
2.1 Nachhaltigkeit im Mobilitätssektor	5
2.2 Das Konzept des Lebenszyklus	6
3. LEBENSZYKLUS VON ELEKTROAUTOS	6
3.1 Rohstoffgewinnung	7
3.2 Produktion des E-Autos und Batterieproduktion	7
3.3 Betriebsphase	8
3.4 Entsorgung und Recycling	9
3.5 CO ₂ Bilanz eines E-Autos	9
4. VERGLEICH ZU ANDEREN ANTRIEBSFORMEN	10
4.1 Verbrennungsmotoren	10
4.2 Alternative Antriebsformen	11
5. HERAUSFORDERUNGEN UND ZUKUNFTSAUSSICHTEN	14
5.1 Herausforderungen	14
5.2 Zukunftsaussichten	16
6. FAZIT	17
7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	19
8. ANHANG	19

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine schulische Projektarbeit mit dem Thema:

"Elektroautos als nachhaltige Alternative? Eine Analyse der ökologischen Auswirkungen"
selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt
habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten
Fassung übereinstimmt.

Freiburg im Breisgau, 09. April 2025

Ort, Datum

Marc von Gehlen

Unterzeichner (Marc von Gehlen)

1. Einleitung

1.1 Hintergrund und Relevanz

Der anthropogene Klimawandel ist mittlerweile wissenschaftlich eindeutig belegt. Bereits 2013 ergab eine Metastudie von John Cook, dass 97,2 % aller wissenschaftlichen Publikationen zu diesem Thema einen Konsens über den menschlichen Einfluss auf den Klimawandel aufwiesen (vgl. Cook et al., 2013).

Eine neue Metastudie aus dem Jahr 2019 erhöhte diese Zahl auf 100 % – keine der 11.602 untersuchten Studien widersprach der Theorie des menschengemachten Klimawandels (vgl. Powel, 2019).

Angesichts der nachweislichen Existenz des Klimawandels und seiner weitreichenden globalen Auswirkungen (vgl. Klimapolitik, -) ist eine drastische Reduzierung der Treibhausgasemissionen erforderlich. Besonders kritisch ist hierbei der Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Ausstoß, da ein direkter Zusammenhang zwischen der Konzentration dieses Treibhausgases in der Atmosphäre und der globalen Erwärmung besteht (vgl. Cook, 2022).

Ein wesentlicher Verursacher der Emissionen ist der Verkehrssektor. Dieser stellt weltweit nach dem Energiesektor die zweitgrößte Quelle von Treibhausgasemissionen dar und hat daran einen Anteil von etwa 21 % (vgl. Crippa, 2024). In Deutschland liegt dieser Wert bei knapp unter 20 % (vgl. UmweltBundesamt, 2021).

Um die Emissionen im Verkehrssektor zu reduzieren und die Folgen des Klimawandels abzumildern, werden Elektrofahrzeuge als zentrale Alternative für eine nachhaltige Mobilität betrachtet. Laut Prof. Dr. Helge Stein von der Technischen Universität München (TUM) sind sie unverzichtbar für eine klimafreundliche Zukunft (vgl. Finsterwalder, 2024). In den folgenden Kapiteln werde ich diese Einschätzung kritisch analysieren und ihre wissenschaftliche Fundierung überprüfen.

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Diese Projektarbeit untersucht, ob Elektroautos tatsächlich eine nachhaltige Alternative zu anderen Antriebsformen darstellen. Im Mittelpunkt steht die umfassende Analyse der ökologischen Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Elektrofahrzeugs, von der Produktion über die Nutzung bis hin zur Entsorgung.

Dabei werden folgende zentrale Fragen betrachtet:

- Wie nachhaltig sind Elektroautos über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg?
- Wie groß ist die tatsächliche CO₂-Einsparung von Elektroautos, insbesondere unter Berücksichtigung des Strombezugs?

- Welche strukturellen und gesellschaftlichen Herausforderungen stehen einer breiten Nutzung von Elektroautos entgegen?
- Was für Entwicklungen hält die Zukunft für Elektroautos bereit?

Ziel dieser Arbeit ist es, eine fundierte und datenbasierte Einschätzung darüber zu geben, inwiefern Elektroautos eine nachhaltige Lösung für die Mobilität der Zukunft darstellen, oder ob alternative Technologien möglicherweise vorteilhafter sind.

1.3 Methodisches Vorgehen

In dieser Projektarbeit wird eine Analyse der ökologischen Auswirkungen von Elektroautos anhand aktueller wissenschaftlicher Studien und Berichte durchgeführt. Zunächst werden theoretische Grundlagen zur Nachhaltigkeit im Mobilitätssektor sowie das Lebenszykluskonzept erläutert. Anschließend wird der Lebenszyklus von Elektroautos - von den Rohstoffen über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung - detailliert dargestellt und in einem Kapitel über Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und bisher verwendete alternative Antriebsarten verglichen, was eine umfassende Bewertung ermöglicht. Die Analyse geht auch auf spezifische Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen bei Elektrofahrzeugen ein, um eine fundierte Einschätzung der Nachhaltigkeitsaspekte von Elektrofahrzeugen zu ermöglichen.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Nachhaltigkeit im Mobilitätssektor

Nachhaltigkeit wurde von den Vereinten Nationen als ein Prinzip definiert, das darauf abzielt, die Bedürfnisse der heutigen Generation zu befriedigen, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. In dieser Erklärung werden konzeptionelle Ansätze zur Integration ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Dimensionen einer nachhaltigen Gestaltung beschrieben (vgl. Hauff, 2015).

Im Mobilitätssektor geht es bei der Nachhaltigkeit darum, Transport- und Verkehrslösungen zu schaffen, die langfristig ökologisch sinnvoll, ökonomisch tragfähig und sozial gerecht sind. Dazu gehören zum Beispiel die Senkung der CO₂-Emissionen, die Schonung von Ressourcen sowie die Förderung von Verkehrsträgern mit geringen oder gar keinen Emissionen (vgl. Umweltbundesamt, 2024).

In diesem Zusammenhang ist die Elektromobilität von entscheidender Bedeutung, da sie als Hauptschritt zur Verringerung der Treibhausgasemissionen gilt. Die eigentliche Umweltverträglichkeit der Elektrofahrzeuge hängt jedoch von mehreren Faktoren ab. Hierbei sind insbesondere die Quelle der zur Energiegewinnung benötigten Elektrizität, die Umweltbewertung der Batterieproduktion sowie die Wiederverwertbarkeit der

verwendeten Materialien zu berücksichtigen, wobei darauf im Kapitel 3.4 weiter eingegangen wird (vgl. DA direkt, 2024 ; vgl. Bundesregierung, 2024).

Für eine fundierte Bewertung der Nachhaltigkeit ist eine ganzheitliche Betrachtung des Lebenszyklus entscheidend. Die Analyse von Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung und Entsorgung ermöglicht eine umfassende Bewertung der Umweltbilanz (vgl. EPA-USA, 2024). Das folgende Kapitel erläutert daher das Konzept des Lebenszykluses als methodische Grundlage, für die Bewertung der Nachhaltigkeit.

2.2 Das Konzept des Lebenszyklus

Um die ökologische Nachhaltigkeit von Elektrofahrzeugen umfassend zu bewerten, ist die Anwendung des Lebenszyklusansatzes unerlässlich. Dieses Konzept, auch als Life Cycle Assessment (LCA) bezeichnet, analysiert die Umweltauswirkungen eines Produkts über dessen gesamten Lebensweg hinweg, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung oder dem Recycling (vgl. Frauenhofer IBP, 2024).

Das LCA wurde durch die Internationale Organisation für Normung (ISO) mit den Normen ISO 14040 und ISO 14044 standardisiert, die bis heute als Grundlage für Lebenszyklusanalysen dienen (vgl. VDI, 2024).

In dieser Projektarbeit findet das Konzept in vereinfachter Form Anwendung. Dennoch kann der Ansatz als „Cradle-to-Grave-Ansatz“ bezeichnet werden, da er alle wesentlichen Phasen eines Elektroautos, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Betriebsphase bis hin zur Entsorgung und dem Recycling berücksichtigt (vgl. Normec OWS, 2024).

3. Lebenszyklus von Elektroautos

Zunächst definieren wir, was unter einem Elektroauto (E-Auto / BEV) zu verstehen ist: Ein E-Auto besteht in erster Linie aus einer Batterie und einem oder mehreren Elektromotoren. Der Elektromotor wird mit Strom aus der Batterie betrieben, die ihrerseits durch eine externe Quelle, wie eine Ladestation oder eine heimische Steckdose, aufgeladen wird (vgl. ADAC-Redaktion, 2024). Im Gegensatz zu einem Hybridfahrzeug verfügt ein reines E-Auto weder über einen Verbrennungsmotor noch über einen Benzintank. Ein weiterer Unterschied besteht im Vergleich zum Wasserstoff-Auto: Ein E-Auto benötigt keinen Wasserstoff, der durch eine Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt wird, sondern nutzt ausschließlich Strom, der aus verschiedenen Quellen stammen kann, darunter erneuerbare Energien oder auch fossile Stromquellen (vgl. Infineon, 2021).

Ein wichtiger Aspekt bei der Betrachtung des Lebenszyklus von Elektroautos ist der unterschiedliche Schadstoffausstoß in den verschiedenen Phasen ihres Lebenszyklus. Diese Phasen sind: die Rohstoffgewinnung, die Produktion des E-Autos einschließlich der

Batterieproduktion, die Betriebsphase und die Entsorgung zusätzlich zum Recycling (vgl. Brügge, 2025).

3.1 Rohstoffgewinnung

Die erste Phase des Lebenszyklus von Elektroautos umfasst die Rohstoffgewinnung. Für die Herstellung der Fahrzeuge, insbesondere der Batterien und des Antriebsstrangs, sind Materialien wie Lithium, Nickel, Kobalt, Kupfer, Grafit, Mangan, Eisen und Phosphor essenziell (vgl. Tesla, 2023 ; vgl. Tijsseling et al., 2023). Besonders kritisch ist der Abbau seltener Erden für den Antriebsstrang, also von Rohstoffen wie Neodym, welche für die Magnete in den Motoren genutzt werden. Der Abbau dieser seltenen Erden ist oft mit erheblichen ökologischen und sozialen Herausforderungen verbunden (vgl. DERA, 2021).

China kontrolliert rund 80 % der weltweiten Produktion Seltener Erden und beeinflusst durch Exportbeschränkungen die globalen Lieferketten. Diese Abhängigkeit birgt Risiken für die Elektromobilitätsbranche und die strategische Autonomie anderer Länder (vgl. ISE AG – Arndt Uhlendorff, 2023 ; vgl. Kullik, 2019 ; vgl. Amelie – Bloggerin und Wirtschaftsingenieurin, 2024).

Lithium wird hauptsächlich in Chile und Australien gewonnen. Besonders in Chile führt der wasserintensive Abbau in trockenen Wüstenregionen zu Umweltbelastungen und Konflikten mit der lokalen Bevölkerung. Gleichzeitig profitieren Länder wie Chile wirtschaftlich von den Einnahmen aus dem Lithiumexport (vgl. Struss, 2023).

Kobalt ist ein zentraler Bestandteil von Elektroauto-Batterien, wobei etwa 60 % der weltweiten Produktion aus dem Kongo stammen. Dort sind die Arbeitsbedingungen oft problematisch, insbesondere im Hinblick auf Kinderarbeit. Unternehmen wie Tesla engagieren sich für bessere Standards und setzen zunehmend auf kobaltfreie Batterien wie Lithium-Eisenphosphat (vgl. Tesla, 2023 ; vgl. Page, 2023).

3.2 Produktion des E-Autos und Batterieproduktion

Die zweite Phase des Lebenszyklus von Elektroautos umfasst die Fahrzeug- und Batterieproduktion, die maßgeblich die Umweltbilanz beeinflusst (vgl. DA direkt, 2024). Elektroautos bestehen aus weniger Einzelteilen als Verbrennerfahrzeuge, da der Antriebsstrang weniger bewegliche Teile benötigt. Dies führt zu einer effizienteren Fertigung, kürzeren Produktionszeiten und potenziell geringeren Kosten. Zudem entfällt der Bedarf an komplexen Abgasreinigungssystemen und Getrieben (vgl. ElektroMobilität NRW, - ; vgl. E-Mobil Magazin Redaktion, 2024).

China dominiert die weltweite Batterieproduktion und kontrolliert große Teile der Lieferkette. Dies betrifft sowohl die Rohstoffversorgung als auch das technologische Know-how. Die

Abhängigkeit stellt andere Länder vor Herausforderungen, insbesondere bei der Sicherung von Lieferketten und dem Aufbau eigener Kapazitäten (vgl. Bastian, 2025 ; vgl. Frauenhofer FFB, 2025 ; vgl. Kettner Edelmetalle, 2025). China führt zudem die weltweite Elektroauto-produktion mit großem Abstand an, gefolgt von Europa und Nordamerika. Während China früh massive Investitionen tätigte, haben europäische Hersteller und die USA in den letzten Jahren ihre Kapazitäten ausgebaut (vgl. Hawkins, 2024 ; vgl. Puls, 2024 ; vgl. ecomento, 2023).

Die Herstellung von Batterien und Elektroautos ist ressourcen- und energieintensiv. Der Abbau von Rohstoffen wie Lithium, Kobalt und Nickel kann Umweltzerstörung und soziale Konflikte verursachen. Zudem hängt die Klimabilanz stark von der verwendeten Energie ab. Wird Strom aus fossilen Quellen genutzt, steigen die CO₂-Emissionen erheblich (vgl. VDI, 2020 ; vgl. Wlitschel, 2020).

3.3 Betriebsphase

In der dritten Phase des Lebenszyklus der Betriebsphase eines Elektroautos, spielt der Strommix eine entscheidende Rolle. Je höher der Anteil erneuerbarer Energien im Netz, desto klimafreundlicher wird das Fahrzeug betrieben (vgl. Wlitschel, 2020). Im Vergleich zu Verbrennern haben E-Autos einen Effizienzvorteil durch Rekuperation: Sie gewinnen Bremsenergie zurück und nutzen sie erneut, was den Energieverbrauch senkt (vgl. ADAC-Redaktion, 2024).

Ein Nachteil ist der fehlende Verbrennungsmotor, der normalerweise Abwärme für die Heizung liefert. E-Autos müssen dafür Strom verwenden, was im Winter die Reichweite verringern kann (vgl. August, 2024). Die Haltbarkeit der Batterie ist ein häufig diskutierter Punkt. Moderne Akkus halten in der Regel 10 bis 15 Jahre, was mit der Lebensdauer des Fahrzeugs vergleichbar ist. Batterien verlieren über die Jahre an Kapazität, aber Studien zeigen, dass viele Akkus nach 200.000 km noch über 80 % ihrer ursprünglichen Leistung besitzen (vgl. Collins, 2025).

Ein Vorteil von E-Autos ist die geringe Wartungsintensität: Sie haben weniger bewegliche Teile als Verbrenner, benötigen keinen Ölwechsel und unterliegen einem geringeren Verschleiß (vgl. meinAuto.de, 2021). Oft wird kritisiert, dass Batterien teuer sind und bei einem Defekt hohe Kosten verursachen. Allerdings sind auch Motoren bei Verbrennern kostspielig, und Statistiken zeigen, dass E-Autos nicht häufiger brennen oder kaputt gehen als herkömmliche Fahrzeuge, wie viele Konsumenten immer noch fälschlicherweise denken (vgl. Edmondson, 2022).

3.4 Entsorgung und Recycling

Die letzte Phase im Lebenszyklus eines Elektroautos umfasst die Entsorgung und das Recycling der Fahrzeuge sowie insbesondere der Batterien. Eine nachhaltige Wiederverwertung der enthaltenen Rohstoffe spielt eine entscheidende Rolle für die ökologische Bilanz der Elektromobilität (vgl. Windisch-Kern et al., 2021).

Ein bedeutender Aspekt ist das Recycling der Lithium-Ionen-Batterien, da sie wertvolle Materialien wie Lithium, Kobalt, Nickel und Graphit enthalten. Durch fortschrittliche Recyclingverfahren können diese Rohstoffe zurückgewonnen und erneut in der Batterieproduktion eingesetzt werden, wodurch der Bedarf an Primärrohstoffen sinkt, und die Umweltbelastung reduziert wird (vgl. Bundestag, 2024 ; vgl. Tesla, 2023).

Die Recyclingquote von Elektroauto-Batterien variiert je nach Verfahren und Standort. In der EU gibt es Bestrebungen, die Wiederverwertungsrate zu erhöhen, um eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren. Unternehmen und Forschungseinrichtungen entwickeln zunehmend effizientere Methoden zur Rückgewinnung von Materialien, um die Abhängigkeit von neuen Rohstoffen zu verringern (vgl. Stephan, 2024).

Neben den Batterien können auch andere Fahrzeugkomponenten recycelt werden. Karosserien und Innenausstattungen bestehen oft aus Aluminium und Kunststoffen, die in neuen Produkten weiterverwendet werden können. Dennoch besteht weiterhin die Herausforderung, Recyclingprozesse sowohl wirtschaftlich rentabel als auch ökologisch nachhaltig zu gestalten (vgl. Rudschies, 2023).

Trotz der Fortschritte in der Recyclingtechnologie gibt es weiterhin offene Fragen zur End-of-Life-Strategie für E-Autos. Eine Möglichkeit stellt die sogenannte Second-Life-Nutzung von Batterien dar, bei der gebrauchte Akkus in stationären Energiespeichern weiterverwendet werden, beispielsweise für Netzstabilisierung oder als Puffer für erneuerbare Energien (vgl. EnBW, 2024 ; vgl. Tesla, 2023).

3.5 CO₂ Bilanz eines E-Autos

Die CO₂-Bilanz von Elektrofahrzeugen ist ein entscheidender Faktor bei der Bewertung ihrer ökologischen Nachhaltigkeit. Sie hängt von verschiedenen Phasen ihres Lebenszyklus ab wie schon zuvor aufgezeigt. Diese Bilanz kann erheblich durch die Herkunft des Stroms, die Herstellungsprozesse und die Lebensdauer des Fahrzeugs beeinflusst werden.

Die Produktionsphase, insbesondere die Herstellung der Batterie, ist ressourcen- und energieintensiv. Dies führt zu höheren CO₂-Emissionen zu Beginn des Lebenszyklus eines Elektroautos. Insbesondere der Abbau von Rohstoffen wie Lithium, Kobalt und Nickel, die für die Batterieproduktion notwendig sind, ist mit erheblichen ökologischen Auswirkungen

verbunden (vgl. Regett, -). Laut Studien des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI amortisieren sich diese anfänglichen CO₂-Emissionen jedoch nach etwa 20.000 bis 60.000 gefahrenen Kilometern, abhängig vom Strommix und Fahrzeugtyp (vgl. Wlitschel, 2020).

In der Betriebsphase, die den größten Anteil an den CO₂-Emissionen eines Fahrzeugs ausmacht, zeigen Elektrofahrzeuge deutliche Vorteile. Die CO₂-Emissionen in dieser Phase hängen stark vom Strommix ab, mit dem das Fahrzeug betrieben wird. Wird der Strom aus erneuerbaren Quellen wie Wind, Solar oder Wasserkraft gewonnen, sind die CO₂-Emissionen nahezu null (vgl. Wlitschel, 2020). Elektrofahrzeuge bieten auch durch ihre hohe Energieeffizienz, insbesondere durch Rekuperation (Bremsenergie-Rückgewinnung), Vorteile in der Betriebsphase, was zu einer Reduktion des Energieverbrauchs führt (vgl. ADAC Redaktion, 2024).

Auf lange Sicht betrachtet – bei einer Lebensdauer von mehr als 150.000 Kilometern – zeigt sich, dass Elektrofahrzeuge ihre Klimafreundlichkeit zunehmend ausspielen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Fahrzeuge mit Strom aus einer dekarbonisierten Energieversorgung betrieben werden. Eine Studie des VDI aus dem Jahr 2023 (vgl. VDI, 2020) bestätigt, dass Elektrofahrzeuge bei einer Nutzung von mehr als 150.000 Kilometern ihre CO₂-Bilanz deutlich verbessern und diese zunehmend vorteilhafter wird. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Elektrofahrzeuge über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg, insbesondere bei einem Strommix aus erneuerbaren Energien, eine deutlich bessere CO₂-Bilanz aufweisen (vgl. VDI, 2020).

Im nächsten Kapitel 4 wird ein detaillierter Vergleich von Elektrofahrzeugen mit anderen Antriebsformen, wie Verbrennungsmotoren, Wasserstoffantrieben etc., gezogen. Anhand eines konkreten Fallbeispiels wird die CO₂-Bilanz dieser Technologien über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg untersucht.

4. Vergleich zu anderen Antriebsformen

4.1 Verbrennungsmotoren

Die CO₂-Bilanz und Effizienz von Verbrennungsmotoren (ICE) mit Benzin, Diesel oder E-Fuels im Vergleich zu Batterieelektrofahrzeugen (BEVs) ist komplex. BEVs erreichen eine Energieeffizienz von 77-95 % (15-20 kWh/100 km) und emittieren 0 g CO₂/km am Auspuff, mit 40-66 g CO₂/km inklusive deutschem Strommix 2024 (366 g CO₂/kWh ; vgl. Burger, 2024). Benzin- und Dieselfahrzeuge nutzen nur 25-35 % der Energie, da der Verbrennungsmotor den Rest in Wärme verliert (7-9 l/100 km) und stoßen 170-230 g CO₂/km aus (vgl. Umweltbundesamt, 2024). E-Fuels also synthetische Kraftstoffe, welche mit erneuerbarem Strom hergestellt werden und somit die CO₂ Bilanz reduzieren sollen (vgl. Forum, 2024) im

Vergleich zu Benzin oder Diesel, reduzieren CO₂ um 55-70 % (70-100 g CO₂/km), doch ihre Herstellung verbraucht 70-80 % der Energie, und Verbrenner erreichen nur 13-17 % Effizienz (vgl. fronttier economics, 2025). Das ifeu-Institut zeigt (vgl. ifeu, 2024), dass E-Fuels über den Lebenszyklus etwa 120 g CO₂/km verursachen, gegenüber ca. 50 g CO₂/km bei BEVs (vgl. Biemann et al., 2024). Realverbräuche von Verbrennern liegen laut ADAC 20-25 % über WLTP also den Laborwerten (z. B. 8,5 l/100 km statt 6,8 l/100 km ; vgl. Legner, 2025). BEVs sparen 50-60 % Energiekosten (5-7€ vs. 12-14€/100 km bei €1,6/l) und decken mit 250-450 km Reichweite 90 % der europäischen Fahrten (<100 km) (vgl. Eurostat, 2024). Verbrenner bieten Tankstellen-Dichte, doch E-Fuels sind laut Prognosen bis 2030 auf Luft- und Schifffahrt beschränkt, also sind BEVs in Effizienz und Emissionen im Vergleich mit Verbrennern überlegen (vgl. T&E, 2024).

4.2 Alternative Antriebsformen

4.2.1 Plug-in-Hybrid (PHEV)

Hybridfahrzeuge kombinieren einen Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor und einer Batterie, wodurch sie theoretisch die Vorteile beider Technologien nutzen können. Im Stadtverkehr ermöglichen sie einen rein elektrischen Betrieb, während der Verbrennungsmotor auf Langstrecken zur Reichweitenverlängerung beiträgt. Allerdings führt diese duale Antriebstechnologie zu erhöhter Systemkomplexität, einem doppelten Gewicht und einer Vielzahl zusätzlicher Komponenten, die den Gesamtwirkungsgrad und die Produktionskomplexität negativ beeinflussen (vgl. Kroher, 2024).

Mehrere Studien haben gezeigt, dass der elektrische Anteil in Hybridfahrzeugen im alltäglichen Betrieb häufig nur unzureichend genutzt wird. Eine EU-Studie ergab, dass in der Praxis der E-Motor und die Batterie oft über einen längeren Zeitraum kaum aktiviert werden, was dazu führt, dass die ursprünglich prognostizierten CO₂-Einsparungen über Jahre hinweg nicht realisiert werden, die realen Emissionen waren dadurch im Durchschnitt ca. 3,5-mal höher als die angenommenen Laborwerte. Durch die falschen Annahmen wurden dazu auch noch zu viele Subventionen für Hybridfahrzeuge gezahlt, was zu unfairen und verzerrten Marktvorteilen geführt hat (vgl. Directorate-General, 2024).

Zudem wurden Hybridfahrzeuge in der Vergangenheit von vielen Unternehmen vor allem als Mittel zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und zur Inanspruchnahme von Steuervorteilen eingesetzt. In vielen Fällen diente dies als Greenwashing, da der elektrische Anteil des Antriebs im tatsächlichen Fahrbetrieb selten genutzt wurde und somit die erwartete Umweltbilanz nicht erreicht wurde (vgl. Finanzprofis, - ; vgl. Wille, 2021; vgl. Tyborski, 2020).

Im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen, die aufgrund der direkten Nutzung des elektrischen Antriebs einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 77–95 % erreichen (vgl. VCO,

2023), weisen Hybridfahrzeuge aufgrund der zusätzlichen mechanischen Komponenten und des redundanten Systems einen deutlich niedrigeren Wirkungsgrad auf im Vergleich zu BEVs (vgl. Plötz et al., 2020).

Die Fraunhofer ISI/ICCT-Studie (2022) zeigt, dass Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEVs) im realen europäischen Betrieb oft weniger effizient sind als erwartet. Ihr elektrischer Fahranteil liegt bei nur 11-49 % (Privat: 45-49 %, Dienstwagen: 11-15 %), weit unter den WLTP-Werten (Angenommenen Laborwerten) von 70-85 %. Dadurch verbrauchen sie 150-400 % mehr Kraftstoff (4-8 l/100 km) und stoßen 200-400 % mehr CO₂ aus (100-150 g CO₂/km) als angegeben. Ursachen sind seltenes Laden und längere Fahrstrecken. Reine Batterieelektrifahrzeuge (BEVs) hingegen fahren stets 100 % elektrisch, verbrauchen 15-25 kWh/100 km und sind 2–4-mal energieeffizienter. Ihre CO₂-Emissionen liegen bei 45-75 g CO₂/km (inkl. Strommix), also 50-75 % unter denen von PHEVs. Für 90 % der europäischen Fahrten (<100 km) reicht die BEV-Reichweite (200-400 km), und sie sparen 30-50 % Energiekosten (€6 vs. €9-15/100 km). PHEVs bieten Flexibilität bei Langstrecken, doch BEVs übertreffen sie in Effizienz, Emissionen und Kosten, ein Vorteil, der mit besserer Ladeinfrastruktur wächst (vgl. Plötz et al., 2020).

4.2.2 Wasserstoff Brennstoffzelle

Wasserstoff, das häufigste Element im Universum (vgl. Teubner, Vieweg Verlag, 2008), wird in der Mobilität vor allem als Energieträger in Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt. In diesen Fahrzeugen reagiert Wasserstoff in einer Brennstoffzelle mit Sauerstoff, wobei elektrische Energie, Wärme und als einziges Nebenprodukt Wasser entstehen. Dies ermöglicht einen nahezu emissionsfreien Betrieb am Fahrzeugauspuff, sofern der eingesetzte Wasserstoff, idealerweise „grüner Wasserstoff“ mittels erneuerbarer Energien produziert wird (vgl. mobil.nrw, 2024).

Allerdings ist die Produktion von Wasserstoff bislang mit erheblichen Herausforderungen verbunden. Die Umwandlung von Strom in Wasserstoff (Elektrolyse) und die anschließende Speicherung sowie der Transport führen zu zusätzlichen Energieverlusten, wodurch die Gesamtenergieeffizienz von Wasserstoffautos im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen deutlich niedriger ausfällt (vgl. IEA, 2019 ; vgl. Wietschel, et al., 2021). Während BEVs im direkten Vergleich einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 77–95 % erreichen, liegt dieser Wert bei wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen häufig unter 40 % (vgl. Air Liquide S.A. et al., 2016).

Zu den Vorteilen von Wasserstoffautos zählen neben dem emissionsfreien Betrieb auch eine hohe Reichweite und eine schnelle Betankungszeit, die insbesondere im Schwerlastverkehr oder bei Langstrecken Anwendungen von Vorteil sein können. Zudem wird

Wasserstoff häufig als Lösung für Bereiche angesprochen, in denen eine Elektrifizierung schwer realisierbar erscheint, wie beispielsweise in der Luft- und Schifffahrt (vgl. Höpp, 2023).

Auf der anderen Seite weisen Wasserstoffautos auch signifikante Nachteile auf: Neben dem geringeren Wirkungsgrad entsteht durch die Produktion von Wasserstoff, insbesondere, wenn dieser nicht ausschließlich mit erneuerbaren Energien hergestellt wird, ein deutlich höherer CO₂-Fußabdruck. Zudem ist die Infrastruktur für Wasserstofftankstellen noch unzureichend ausgebaut, was den praktischen Einsatz im Straßenverkehr erheblich einschränkt (vgl. Umweltbundesamt, 2023). Kritiker bemängeln, dass der Begriff „grüner Wasserstoff“ irreführend ist, da die Produktion in vielen Fällen auf fossile Energieträger zurückgreift und „grüner Wasserstoff“ gerade mal 1% in der heutigen globalen Produktion ausmacht (vgl. IRENA, 2022). Dies hat dazu geführt, dass Milliardenbeträge an Steuergeldern und Subventionen in die Wasserstoffstrategie investiert wurden, deren langfristiger Nutzen für den Straßenverkehr und Schienennetz bleibt jedoch oft aus (vgl. Gralchen, 2021 ; vgl. EnBW, 2024).

Abschließend lässt sich festhalten, dass Wasserstoffautos in bestimmten Nischen insbesondere in Bereichen, in denen eine direkte Elektrifizierung technisch kaum möglich ist, ein sinnvolles Einsatzpotenzial besitzen siehe (im Anhang) Abbildung 1 Wasserstoff (vgl. Gregor Hagedorn, 2021) in der Grafik nach M. Liebreich, wird der Einsatz von Wasserstoff als Brennstoffzelle-Pkw in der Kategorie G also, als einer der unwirtschaftlichsten Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff eingeordnet. Im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen schneiden sie hinsichtlich CO₂-Bilanz und Energieeffizienz oft schlechter ab, da die Umwandlung einen Zwischenschritt und somit einen direkten Effizienzverlust bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff auch Elektrolyse genannt (ca. 60 - 70% Verlust) (vgl. EnBW, 2024) und wieder Umwandlung im Auto von Wasserstoff (ca. 50 – 60% Verlust) (vgl. TÜVNord, -) in Storm zur Folge hat. Die aktuelle Studienlage legt nahe, dass für den Straßenverkehr BEVs in der Regel ökologisch und ökonomisch vorteilhafter sind. In einer Studie des Kopernikus-Forschungsprojekts, welche vom BMBF gefördert wurde (vgl. Specht et al, 2022), schnitten selbst die Wasserstoffautos mit dem niedrigsten Ausstoß durch grünen Wasserstoff mit 2,4 kG CO₂ / 100 km ab, im Vergleich dazu haben BEV's mit etwa 80% erneuerbarer Energie als Strom (ungleicher Vergleich da selbst in dem Fall 20% nicht erneuerbare Energie verwendet wird und bei Grüner Wasserstoff 100% erneuerbare) eine CO₂ Bilanz von 1,35 kG / 100 km aufgezeigt, somit war das BEV etwa 44% klimafreundlicher im Vergleich zum umweltfreundlichstem Wasserstoffauto, was in der nahen Zukunft als Unrealistisch angesehen wird da grüner Wasserstoff so einen niedrigen Anteil an der globalen Produktion besitzt.

Während Wasserstoffnutzung vor allem in schwer elektrifizierbaren Bereichen ihre Berechtigung haben, in der Abbildung 1 Wasserstoff (vgl. Gregor Hagedorn, 2021) sind hierfür Bereiche mit einem besonders hohen Hebel, also wo der Einsatz von Wasserstoff möglichst viel CO₂ Emissionen einspart und alternativlos angegeben ist, z.B. für Hydrocracking (Katalyse von Kraftstoff) und als Düngemittel als sinnvoll anzunehmen (vgl. Liebreich, 2021 ; vgl. IEA, 2022) (Hydrogen-Europe, 2023).

5. Herausforderungen und Zukunftsaussichten

5.1 Herausforderungen

Die Elektromobilität steht vor zahlreichen Herausforderungen, die ihren flächendeckenden Einsatz erschweren. Diese reichen von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekten über infrastrukturelle Defizite bis hin zu technischen und politischen Hürden (vgl. Qadir et al., 2024). Im Folgenden werden die zentralen Hindernisse beleuchtet, auch wenn in den vorhergegangenen Kapiteln einige Punkte schon ausgeführt wurden, die den Übergang zu Elektrofahrzeugen (E-Fahrzeugen) in Deutschland und weltweit bremsen.

Die Umstellung auf Elektromobilität verändert den Arbeitsmarkt, insbesondere in der Automobilindustrie. Traditionelle Arbeitsplätze in der Fertigung von Verbrennungsmotoren und Zulieferindustrie gehen zurück, da E-Fahrzeuge weniger und andere mechanische Teile benötigen (vgl. tagesschau, 2024). Gleichzeitig entstehen neue Jobs in der Batterieproduktion, Softwareentwicklung und Wartung, was oft Kompetenzen sind, welche die Traditionellen Autobauer in Deutschland nicht in-House selbst erfüllen können. Eine Studie (vgl. Heimes, H.H. et al., 2024) zeigt, dass dieser Wandel Qualifikationsanpassungen erfordert, was Umschulungen notwendig macht. Die Unsicherheit über die Geschwindigkeit und den Umfang dieser Veränderungen führt zu Skepsis bei Arbeitnehmern und Unternehmen.

Die öffentliche Akzeptanz von E-Fahrzeugen bleibt eingeschränkt. Laut einer EY-Umfrage (vgl. EY Ger, 2024) nennen 47 % der Befragten die hohen Anschaffungskosten als Haupthindernis, gefolgt von Reichweitenangst (42 %) und fehlender Ladeinfrastruktur (40 %). Trotz eines wachsenden Umweltbewusstseins zögern viele, auf E-Autos umzusteigen. Diese Bedenken bremsen die Nachfrage und erschweren die Zielerreichung von 15 Millionen E-Fahrzeugen in Deutschland bis 2030 (vgl. Steigmaier, 2023).

Die hohen Anschaffungskosten von E-Fahrzeugen bleiben eine große Hürde. Trotz sinkender Batteriepreise sind E-Autos initial teurer als vergleichbare Verbrenner, besonders im unteren und mittleren Preissegment. Der Wegfall des Umweltbonus Ende 2023 hat diesen Preisunterschied verschärft und die Attraktivität von E-Fahrzeugen gemindert (vgl. Hürtgen, 2024). Dennoch tendieren die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO) von E-Autos über die Laufzeit niedriger zu sein, da sie weniger Wartung und günstigere Energie

benötigen. Laut einer Studie des Fraunhofer ISI (vgl. Fraunhofer ISI, 2023) sind E-Autos nach fünf Jahren 10-15 % günstiger als Verbrenner, je nach Modell und Nutzung. Diese Kalkulation berücksichtigt geringere Wartungs- und Energiekosten, doch die hohen Anfangsinvestitionen bleiben für viele unüberwindbar.

Die politische Unterstützung für Elektromobilität ist in Deutschland uneinheitlich. Der abrupte Wegfall des Umweltbonus 2023 hat die Nachfrage gedämpft (vgl. Mencke, 2024). Zudem verzögert sich der Ausbau der Ladeinfrastruktur, was die Abhängigkeit von teuren öffentlichen Ladestationen erhöht. Diese Unsicherheiten erschweren langfristige Planungen für Verbraucher und Industrie (vgl. Mencke, 2024).

Die Nutzung von E-Fahrzeugen erfordert technische Kenntnisse, etwa zur Ladeplanung oder Nutzung von Apps für Ladestationen. Dies kann für technisch weniger versierte Personen abschreckend sein, insbesondere für ältere Nutzer. Diese Hürde schränkt die Zielgruppe der potenziellen E-Auto-Nutzer ein (vgl. Ladelösung, -).

Deutschland hat den Übergang zur Elektromobilität verpasst, wodurch China und Tesla einen deutlichen Vorsprung erlangt haben. Während China massiv in die Produktion von Batterien und Fahrzeugen investiert und Tesla durch technologische Innovationen den Markt dominiert, bleibt Deutschland bei der Eigenproduktion zurück (vgl. Hürtgen, 2024), hinzu kommt die Rohstoffabhängigkeit von China in Bezug auf Seltene-Erden wie in Kapitel 3.2 schon erwähnt (vgl. Kullik, 2019). Diese Schwäche führt zu einer starken Abhängigkeit von Importen und untergräbt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie auf globaler Ebene. Um den Anschluss nicht weiter zu verlieren, muss Deutschland dringend handeln und die bestehenden Defizite in Produktion, Innovation und politischer Unterstützung schließen, ansonsten könnte diese Deutsche Schlüsselindustrie deutlich an Relevanz verlieren (vgl. Bünningel, 2024).

Vorurteile über Reichweite und Ladezeiten von Elektroautos halten sich hartnäckig, obwohl die durchschnittliche Reichweite von 123 km (2010) auf 393 km (2023) gestiegen ist (vgl. ADAC, 2023). Empfinden viele die Ladezeiten als zu lang, doch Fortschritte wie Silizium in Batterien könnten diese bald verkürzen, zusätzlich können Ladepunkte zuhause oder auf der Arbeit Abhilfe schaffen. Da die meisten Fahrer täglich nur 50–100 km zurücklegen, decken moderne Elektroautos diesen Bedarf problemlos für >90% der Fahrten ab. Technologien für 1000 km Reichweite sind verfügbar, jedoch ineffizient, da große Batterien Gewicht und Verbrauch erhöhen. Eine Abwägung zwischen Batteriegröße und Reichweite ist daher entscheidend für Effizienz und Kosten (vgl. Wagner, 2024).

Der wachsende Einsatz von E-Fahrzeugen erhöht den Strombedarf und kann bei Netzspitzen zu Überlastungen führen, wenn viele Fahrzeuge gleichzeitig laden (vgl. Springer

Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2023). Intelligentes Strommanagement und mehr Speicher könnten dies verhindern, doch politische Unsicherheit und Bürokratie in Deutschland bremsen den Ausbau von Netzen und Ladeinfrastruktur ab (vgl. Nicholas et al., 2020).

5.2 Zukunftsaussichten

Die Elektromobilität steht vor einer vielversprechenden Zukunft, die durch technologische, wirtschaftliche und ökologische Entwicklungen geprägt ist. Um die Transition hin zu einer nachhaltigen Mobilität zu verstehen und die Rolle von Elektroautos (E-Autos) zu bewerten, werden im Folgenden zentrale Aspekte analysiert.

Die Verbreitung neuer Technologien folgt häufig einer S-Kurve mit anfänglich langsamer Akzeptanz, gefolgt von schnellerem Wachstum und schließlich einer Sättigung siehe (im Anhang) Abbildung 2 S-Kurve (vgl. Korus, 2019). China befindet sich im steilen Anstieg dieser Kurve: 2023 lag der Marktanteil von E-Autos bei 38 %, mit einer Prognose von 60 % bis 2030 (vgl. IEA, 2024). Norwegen, als Vorreiter, nähert sich der Sättigung mit einem Marktanteil von 82 % im Jahr 2023 (vgl. Norsk elbilforening, 2024). Deutschland hingegen liegt mit einem Anteil von 13.8 % noch im frühen Stadium und kämpft mit der Umsetzung ambitionierter Ziele (vgl. KBA, 2025). Dies zeigt die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der globalen Transition.

E-Autos sind ein Schlüsselbestandteil einer erneuerbaren Energiewirtschaft. Werden sie mit grünem Strom geladen, können sie die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor um bis zu 90 % reduzieren. Dies erfordert jedoch einen massiven Ausbau von Wind- und Solarenergie, um den steigenden Energiebedarf zu decken. E-Autos tragen somit nicht nur zur Mobilitätswende, sondern auch zur Energiewende bei (vgl. Umweltbundesamt, 2024).

Die Kosten für E-Autos sinken durch technologische Fortschritte und Skaleneffekte erheblich. Batteriepreise fielen von 1.000 USD/kWh (2010) auf 132 USD/kWh (2023) und werden bis 2030 voraussichtlich unter 100 USD/kWh liegen (vgl. Catsaros, 2023). Dadurch werden günstigere Modelle wie das Tesla Model 2 für unter 35.000 EUR möglich (vgl. Westbrook, 2024), was die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Verbrennern steigert und den TAM (Total Adressable Market) um bis zu 10x steigern könnte siehe (im Anhang) Abbildung 3 TAM (vgl. Ark Invest, 2024).

E-Autos können dank Vehicle-to-Grid (V2G) -Technologien als mobile Speicher das Stromnetz stabilisieren. Neue Modelle wie der Cybertruck von Tesla, zeigen, wie E-Autos bei Bedarf Strom zurückspeisen und Netzspitzen abfedern können (vgl. Ladelösungen, 2025). Dies unterstützt die Integration erneuerbarer Energien und reduziert Investitionen in teure Netzinfrastruktur (vgl. Tesla, 2023).

Obwohl E-Autos den Individualverkehr nachhaltiger machen, sind sie nur eine von mehreren Lösungen. Studien betonen die Notwendigkeit eines breiteren Ausbaus des öffentlichen Verkehrs sowie multimodaler Ansätze wie Carsharing (vgl. Lambrecht, 2023). Als Vorreiter in BEVs arbeitet Tesla bereits seit der ersten Veröffentlichung von FSD (Full Self Driving) im Jahr 2016 (vgl. Brandon, 2023), an einer völlig anderen Art der Mobilität und plant in der zweiten Hälfte von 2025 in den ersten Städten der USA selbstfahrende Taxis anzubieten (vgl. The Tesla Space, 2025). Das im Oktober 2024 neu angekündigte „Cybercab“ Robotaxi, ein vollkommen auf selbstfahrende Fähigkeiten ausgelegtes Taxi ohne Lenkrad, soll im Jahr 2026 in Massenproduktion gehen (vgl. Merano, 2024). Eine ganzheitliche Mobilitätswende erfordert die Verknüpfung von E-Autos mit anderen Verkehrsträgern Tesla macht es vor.

E-Autos sind unverzichtbar, um Umweltziele wie das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen. Mit grünem Strom betrieben, können sie die CO₂-Emissionen um 60-80 % senken (vgl. IEA, 2024). Sie spielen eine zentrale Rolle bei der Reduktion von Treibhausgasen und Luftverschmutzung, was sie zu einem essenziellen Baustein für eine nachhaltigere und lebenswertere Welt macht.

6. Fazit

Die Projektarbeit untersuchte, ob Elektroautos eine nachhaltige Lösung für die Mobilität der Zukunft bieten können, indem sie den gesamten Lebenszyklus, von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung, analysiert und mit Verbrennern, Hybriden und Wasserstofffahrzeugen verglichen hat.

Vorteile: Elektroautos punkten in der Betriebsphase mit niedrigen CO₂-Emissionen, besonders bei Nutzung erneuerbarer Energien, und sind nahezu emissionsfrei. Dank hoher Energieeffizienz und Technologien wie Rekuperation übertreffen sie Verbrenner nach 20.000 bis 60.000 Kilometern in der Klimabilanz, bei über 150.000 Kilometern wird der Vorteil noch deutlicher (vgl. Wletschel, 2020 ; vgl. VDI, 2020).

Herausforderungen: Die Produktion, insbesondere der Batterien, ist ressourcenintensiv und verursacht zunächst hohe CO₂-Emissionen sowie Umweltbelastungen durch Rohstoffabbau (z. B. Lithium, Kobalt). Recycling ist vielversprechend, aber noch nicht flächendeckend effektiv. Zudem bremsen hohe Kosten und der mangelhafte Ausbau der Ladeinfrastruktur die Akzeptanz, besonders in Deutschland (Kapitel 5.1).

Vergleich: Gegenüber Verbrennern sind Elektroautos über den Lebenszyklus nachhaltiger, da Betriebsemissionen gering sind. Plug-in-Hybride zeigen oft höhere reale Emissionen als im Labor, Wasserstofffahrzeuge sind ineffizient und teuer, haben aber Potenzial, wo sie am meisten Emissionen Ersetzen können (Kapitel 4.2).

Zukunftsansichten: Sinkende Batteriekosten und Technologien wie Vehicle-to-Grid verbessern die Perspektiven. Der Ausbau erneuerbarer Energien und politische Unterstützung sind jedoch entscheidend.

Fazit: Elektroautos sind derzeit die nachhaltigste Option für den Individualverkehr (vgl. ADAC-Redaktion, 2024) und ein wichtiger Schritt zur klimafreundlichen Mobilität, siehe (im Anhang) Abbildung 4 Lebenszyklus-Vergleich (vgl. icct, 2025). Sie lösen nicht alle Probleme, eine ganzheitliche Strategie mit öffentlichem Verkehr und multimodalen Ansätzen ist essenziell. Ihr Erfolg hängt von technologischen und politischen Fortschritten ab, wie in Ansätzen schon vorhanden ist (vgl. BMDV, 2025). Eine Studie von PWC (PWC, -) beschreibt 7 Handlungsfelder und gibt einen Ausblick in die Zukunft. Erstens soll die Ladeinfrastruktur ausgebaut werden, um den Zugang zu Ladestationen zu erleichtern und Reichweitenangst zu verringern. Zweitens vereinfachen Planungs- und Genehmigungsprozesse die schnelle Umsetzung. Drittens steigert ein verbessertes Nutzungserlebnis durch benutzerfreundliche Systeme die Zufriedenheit. Viertens fördert smartes und bidirektionales Laden eine effiziente Netznutzung. Fünftens erhöhen größere Reichweiten und schnellere Ladeleistungen die Praktikabilität. Sechstens machen sinkende Kosten Elektroautos erschwinglicher. Siebtens spricht eine erweiterte Modellpalette vielfältige Bedürfnisse an. Zusammen bilden diese Punkte die Grundlage für eine nachhaltige Elektromobilität, wie sie in Zukunft mit genug Wille in Deutschland möglich wäre, dadurch zeigen sowohl Heute als auch in der Zukunft immer mehr, E-Autos sich selbst als eine Essenzielle nachhaltige Alternative für den globalen Klimaschutz und Verkehrssektor auf.

Eigene Meinung: Ich betrachte Elektroautos als essenziellen Fortschritt für eine nachhaltige Mobilität, da sie emissionsarm fahren und mit erneuerbaren Energien die Klimabilanz deutlich verbessern können. Allerdings sehe ich auch Schwächen, wie die umweltbelastende Batterieproduktion und den oft schleppenden Ausbau der Ladeinfrastruktur (vor allem in Deutschland). Besonders wichtig finde ich hervorzuheben, dass Elektroautos als softwaredefinierte Fahrzeuge konzipiert sind. Die Software steuert Reichweite, Updates, Navigation zu Ladepunkten und Nutzererlebnis. Ohne Kontrolle über die Software kann die Erfahrung frustrierend sein, weshalb ich besonders Marken empfehlen würde, die dies beherrschen. Tesla sticht durch Reichweite und Software wie Autopilot als Marktführer hervor, Polestar überzeugt mit intuitiver Bedienung, Audi (z. B. e-tron) und Porsche (Taycan) bieten Premium-Feeling mit solider Software, BMW (i-Serie) integriert innovative Features, Xiaomi (SU7) punktet mit Smartphone-ähnlicher Vernetzung, Lucid (Air) setzt auf Luxus und Effizienz, BYD liefert günstige, softwarestarke Modelle, und Mercedes (EQS) kombiniert Komfort mit fortschrittlicher Technik. Diese Marken gewährleisten eine Runde Erfahrung durch wahre Softwarekompetenz.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Wasserstoff (vgl. Gregor Hagedorn, 2021).....	19
Abbildung 2 S-Kurve (vgl. Korus, 2019)	19
Abbildung 3 TAM (vgl. Ark Invest, 2024).....	20
Abbildung 4 Lebenszyklus-Vergleich (vgl. icct, 2025)	20

8. Anhang

Clean Hydrogen Ladder: Competing technologies

Liebreich
Associates

Unavoidable

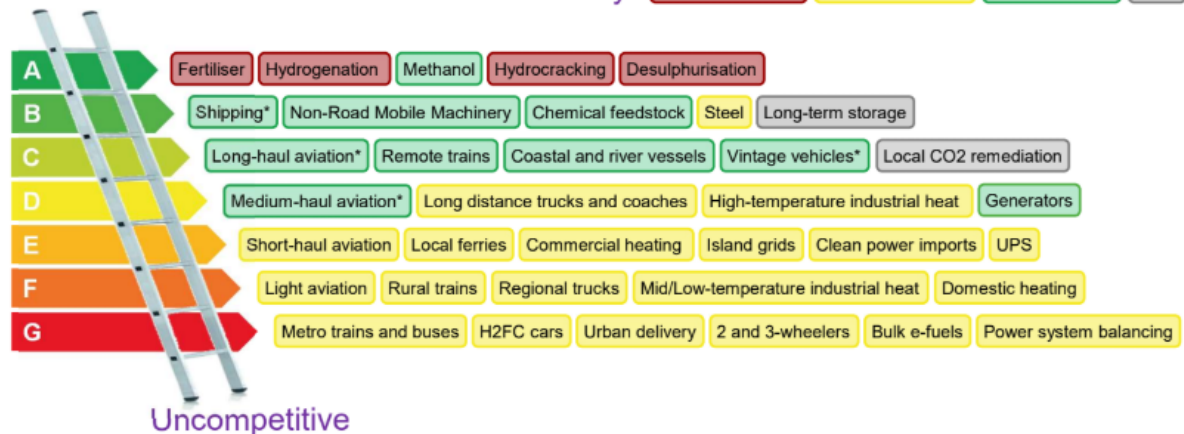
Key:

No real alternative

Electricity/batteries

Biomass/biogas

Other



* Most likely via ammonia or e-fuel rather than H2 gas or liquid

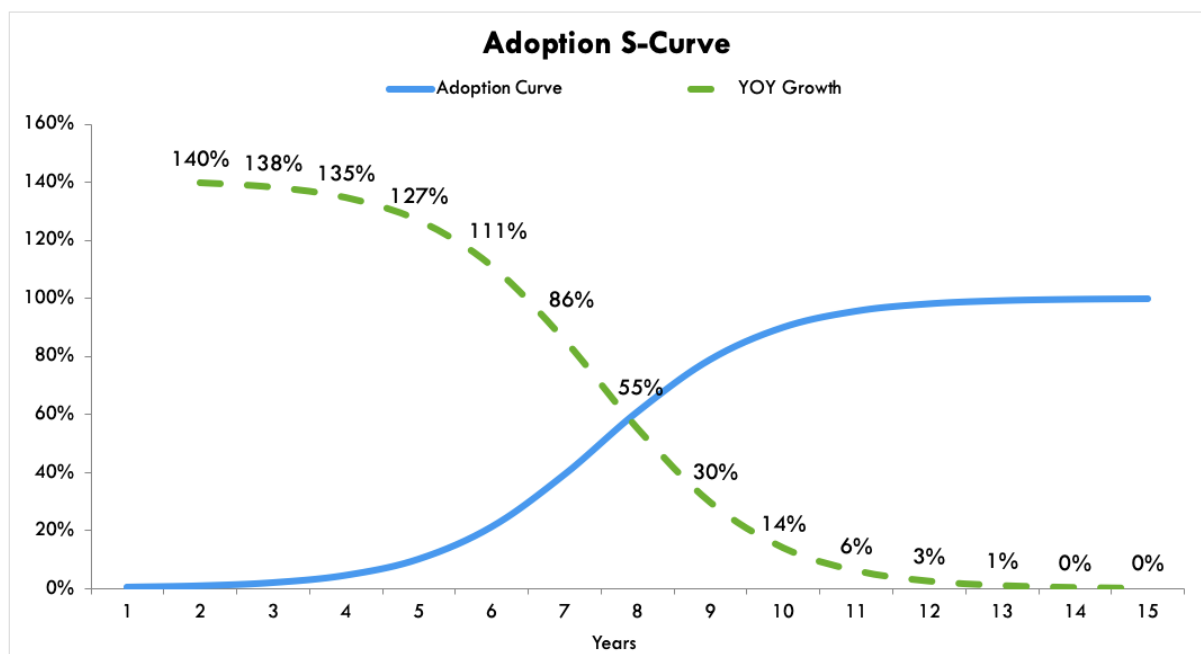
Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder*, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 3.0

8 9 September 2021

Clean Hydrogen Use Case Ladder – Version 4.1a

@mliebreich

Abbildung 1 Wasserstoff (vgl. Gregor Hagedorn, 2021)



Source: ARK Investment Management LLC, 2019 | ark-invest.com

Abbildung 2 S-Kurve (vgl. Korus, 2019)

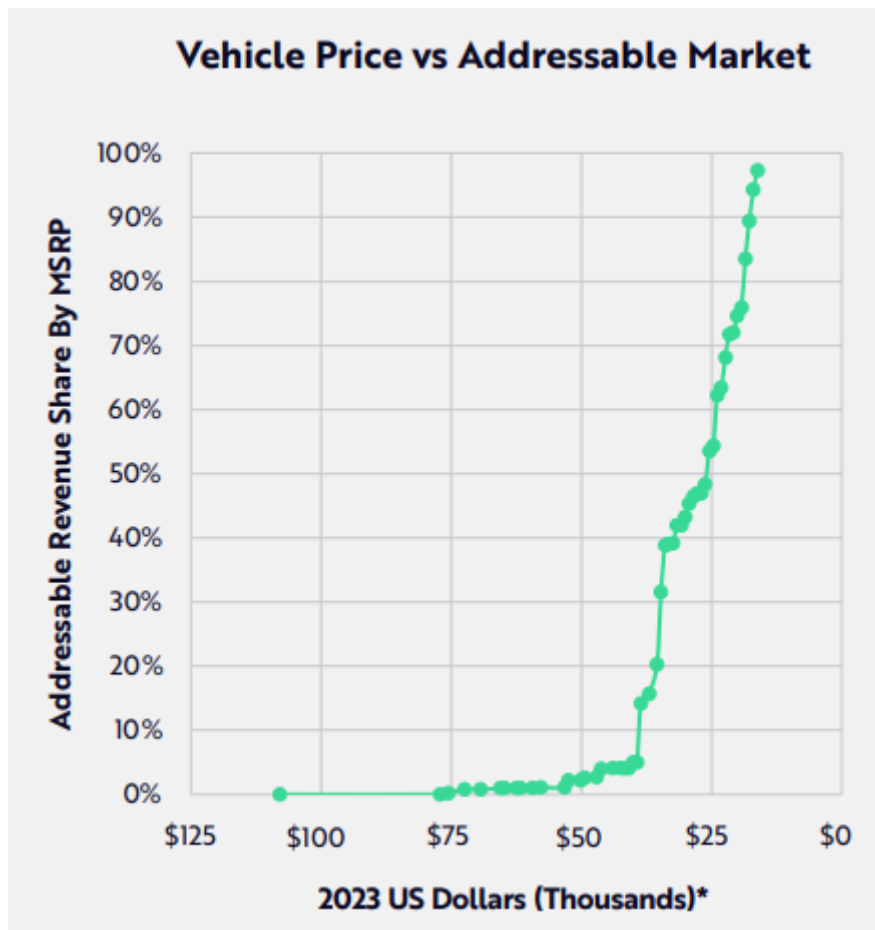


Abbildung 3 TAM (vgl. Ark Invest, 2024)

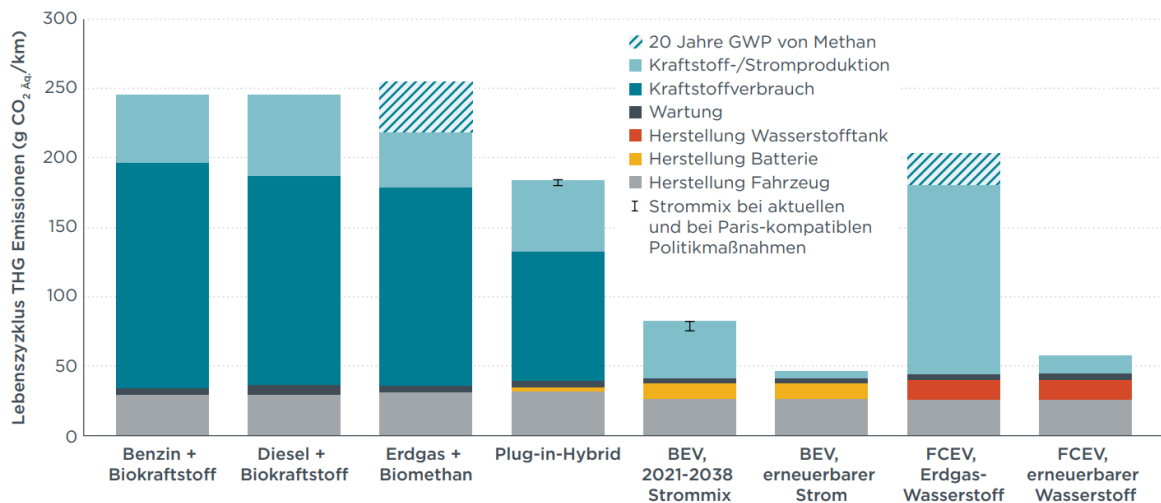


Abbildung 4 Lebenszyklus-Vergleich (vgl. icct, 2025)

9. Literaturverzeichnis

ADAC Redaktion, 2024. *ADAC - Glossar: Elektromobilität von A bis Z*. [Online]
 Available at: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/glossar-elektromobilitaet/>
 [Zugriff am 02 März 2025].

Air Liquide S.A., B. G. D. W.-. u. B. E. E. E., 2016. *Hydrogen roadmap Europe*. [Online]
Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0817d60d-332f-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en>
[Zugriff am 03 03 2025].

Amelie – Bloggerin und Wirtschaftsingenieurin, 2024. *Fenske - Seltene Erden: Chinas Schachzug und die weltweiten Folgen*. [Online]
Available at: <https://fenske-industries.com/2024/11/08/seltene-erden-chinas-schachzug-und-die-weltweiten-folgen/>
[Zugriff am 02 März 2025].

Ark Invest, 2024. *ARK-Invest Big Ideas 2024*. [Online]
Available at: https://assets.arkinvest.com/media-8e522a83-1b23-4d58-a202-792712f8d2d3/8cea086f-21b4-47bf-8ac6-666b96a84a04/ARK-Invest_Big-Ideas-2024.pdf
[Zugriff am 04 03 2025].

August, B., 2024. *Recurrent - Study: How Much Heat Pumps Boost EV Range*. [Online]
Available at: <https://www.recurrentauto.com/research/heat-pumps>
[Zugriff am 02 03 2025].

Bastian, D., 2025. *Ingenieur - Kritische Rohstoffe: China plant Ausfuhrbeschränkungen*. [Online]
Available at: <https://www.ingenieur.de/wirtschaft/lithium-und-gallium-china-plant-ausfuhrbeschraenkungen/>
[Zugriff am 02 März 2025].

Biemann, K. H. H. D. M. A. L. J. P. C. K., 2024. *Endbericht - Analyse der Umweltbilanz*. [Online]
Available at:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13_2024_texte_analyse_der_umweltbilanz_von_kraftfahrzeugen_0.pdf
[Zugriff am 03 03 2025].

BMDV, 2025. *Die Zukunft braucht Wege – der Infrastrukturdiallog*. [Online]
Available at: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/abschlussbericht-des-infrastrukturdialogs.pdf?__blob=publicationFile
[Zugriff am 04 03 2025].

Brandon, P., 2023. *A Brief History of Tesla's "Full Self Driving"*. [Online]
Available at: <https://brandonpaddock.substack.com/p/a-brief-history-of-teslas-full-self>
[Zugriff am 04 03 2025].

Brügge, M., 2025. *AutoBild - Fahren E-Autos sauberer als Verbrenner?*. [Online]
Available at: <https://www.autobild.de/artikel/bessere-co2-bilanz-e-auto-benziner-diesel-3729677.html>
[Zugriff am 02 März 2025].

BUND Naturschutz in Bayern e.V. Referat und Landesarbeitskreis Energie und Klima, 2023. *Rolle von E-Fuel in der Energiewende*. [Online]
Available at: https://www.bund-naturschutz.de/fileadmin/Bilder_und_Dokumente/Themen/Energiewende/230615_BN-

informiert E-Fuels-final.pdf

[Zugriff am 03.03.2025].

Bundesregierung, P.-. u. I. d., 2024. *Die Bundesregierung - Nicht weniger fortbewegen, sondern anders.* [Online]

Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte-der-bundesregierung/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltige-mobilitaet-2044132#>

[Zugriff am 02. März 2025].

Bundestag, D., 2024. *Untertitel: Technische Aspekte und Recyclingkonzepte ausgewählter Länder.* [Online]

Available at:

<https://www.bundestag.de/resource/blob/1014788/fb6a4f49c0ca148337fa972f3f4b634b/W/D-5-078-24-pdf.pdf>

[Zugriff am 02.03.2025].

Bünnagel, C., 2024. *Der doppelte China-Schock.* [Online]

Available at: <https://vision-mobility.de/news/der-doppelte-china-schock-316606.html>

[Zugriff am 04.03.2025].

Burger, B., 2024. *energy-charts Electricity generation in Germany in 2023.* [Online]

Available at: <https://energy-charts.info/>

[Zugriff am 03.03.2025].

Catsaros, O., 2023. *Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of \$139/kWh.* [Online]

Available at: <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/>

[Zugriff am 04.03.2025].

Collins, T., 2025. *TechCrawlr - Study Shows EV Batteries Maintain Nearly 90% Capacity After 200,000 km.* [Online]

Available at: <https://techcrawlr.com/study-shows-ev-batteries-maintain-nearly-90-capacity-after-200000-km/>

[Zugriff am 02.03.2025].

Cook, J., 2013. *iopscience - Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature.* [Online]

Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/2/024024>

[Zugriff am 02. März 2025].

Cook, J., 2022. *Helmholtz Klima Initiative.* [Online]

Available at: <https://www.helmholtz-klima.de/klimafakten/behauptung-der-co2-anstieg-ist-nicht-ursache-sondern-folge-des-klimawandels>

[Zugriff am 02. März 2025].

Crippa, M., 2024. *Statista - Verteilung der CO₂-Emissionen weltweit nach Sektor 2023.*

[Online]

Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167957/umfrage/verteilung-der-co-emissionen-weltweit-nach-bereich/>

[Zugriff am 02. März 2025].

DA direkt, 2024. *DA direkt - Ökobilanz des Elektroautos: So klimafreundlich ist es wirklich.*

[Online]

Available at: <https://www.da-direkt.de/nachhaltigkeit/ratgeber/oekobilanz-e-auto>
[Zugriff am 02 März 2025].

DERA, 2021. *Deutsche Rohstoffagentur - Rohstoff Seltene Erden*. [Online]
Available at: <https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/m-seltene-erden.pdf?blob=publicationFile&v=2#:~:text=Unter%20dem%20Begriff%20Seltene%20Erden,chemisch%20%C3%A4hnlichen%20Elements%20Yttrium%20zusammengefasst>
[Zugriff am 02 März 2025].

Directorate-General, 2024. *First Commission report on real-world CO2 emissions of cars and vans using data from on-board fuel consumption monitoring devices*. [Online]
Available at: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/first-commission-report-real-world-co2-emissions-cars-and-vans-using-data-board-fuel-consumption-2024-03-18_en#:~:text=For%20new%20plug%2Din%20hybrid,they%20are%20not%20being%20charged
[Zugriff am 03 03 2025].

ecomento , 2023. *ecomento - Analyse: Globale Markt- und Absatztrends der E-Mobilität*. [Online]
Available at: <https://ecomento.de/2023/08/03/globale-markt-und-absatztrends-der-e-mobilitaet-analyse/>
[Zugriff am 02 März 2025].

Edmondson, J., 2022. *IDTechEx - EV Fires: Less Common But More Problematic?*. [Online]
Available at: <https://www.idtechex.com/en/research-article/ev-fires-less-common-but-more-problematic/25749>
[Zugriff am 02 03 2025].

ElektroMobilität NRW, -. *ElektromobilitätNRW - Vergleich Verbrenner vs. Elektro*. [Online]
Available at: <https://www.elektromobilitaet.nrw/infos/e-auto/vergleich/>
[Zugriff am 02 März 2025].

E-Mobil Magazin Redaktion, 2024. *EMobil Magazin - Elektromobilität vs Verbrenner: Ein umfassender Vergleich*. [Online]
Available at: <https://emobil-magazin.de/elektromobilitaet-vs-verbrenner-ein-umfassender-vergleich/>
[Zugriff am 02 März 2025].

EnBW, 2024. *EnBW - Second-Life-Batterien: Stromspeicher aus gebrauchten E-Auto-Akkus*. [Online]
Available at: <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/speicher/second-life-batterien.html>
[Zugriff am 03 03 2025].

EnBW, 2024. *Grüner Wasserstoff: Was er für die Energiewende leisten kann*. [Online]
Available at: <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wasserstoff/gruener-wasserstoff.html>
[Zugriff am 03 03 2025].

EPA - USA, 2024. *EPA - Design for the Environment Life-Cycle Assessments*. [Online]
Available at: <https://archive.epa.gov/epa/saferchoice/design-environment-life-cycle->

[assessments.html](#)

[Zugriff am 02 März 2025].

Eurostat, 2024. *Road traffic performance by category of vehicle registration and traffic, type of vehicle and motor energy*. [Online]

Available at:

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/road_tf_veh/default/table?lang=en

[Zugriff am 03.03.2025].

EY Ger, 2024. *Weltweite Umfrage zu Kaufabsichten: Nachfrage nach Elektroautos steigt wieder – chinesische E-Autos gewinnen Marktanteile*. [Online]

Available at: https://www.ey.com/de_de/newsroom/2024/10/ey-mobility-consumer-index

[Zugriff am 04.03.2025].

Finanzprofis, -. *Greenwashing: Wie Unternehmen Nachhaltigkeit vortäuschen*. [Online]

Available at: <https://www.finanzprofis-allgaeu.de/greenwashing.html>

[Zugriff am 03.03.2025].

Finsterwalder, I., 2024. *Im Gespräch: Prof. Dr. Helge Stein "Das E-Auto ist alternativlos für eine nachhaltige Zukunft"*. [Online]

Available at: https://www.flvw.de/home/info_1800_04_7265_im-gespraech-prof-dr-helge-stein-das-e-auto-ist-alternativlos-fuer-eine-nachhaltige-zukunft

[Zugriff am 02 März 2025].

Forum, e.-F., 2024. *eFuels vs. Elektromobilität: Ein fairer Wirkungsgrad-Vergleich*. [Online]

Available at: <https://www.efuels-forum.de/2024/10/15/efuels-vs-elektromobilitaet-ein-fairer-wirkungsgrad-vergleich/>

[Zugriff am 03.03.2025].

Frauenhofer FFB, 2025. *Frauenhofer FFB - Studie zur Batterielieferkette zeigt Chinas globale Dominanz – und Optionen für Europa*. [Online]

Available at:

https://www.ffb.fraunhofer.de/de/news/Pressemitteilungen/Chinas_Dominanz_in_der_Batterielieferkette.html

[Zugriff am 02 März 2025].

Frauenhofer IBP, 2024. *Frauenhofer - Ökobilanzierung*. [Online]

Available at: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html>

[Zugriff am 02 März 2025].

frontier economics, 2025. *Szenarien für den Markthochlauf von E-Fuels im Straßenverkehr*. [Online]

Available at: <https://www.frontier-economics.com/media/zo2bk3qq/szenarien-fuer-den-markthochlauf-von-e-fuels-im-strassenverkehr-januar-2025-stc.pdf>

[Zugriff am 03.03.2025].

Gralchen, P., 2021. *Was die Industrie jetzt von der Politik braucht*. [Online]

Available at: https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projekte/2020/2020-09_DE-Call_for_Action_Industry/2021-03-02_Praesentation_Klimaneutralitaet_Industriedialog.pdf

[Zugriff am 03.03.2025].

Gregor Hagedorn, W.-P. S. & M. K., 2021. *Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021 Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 4.0*. [Online]

Available at: <https://x.com/wozukunft/status/1436681783920242696>

[Zugriff am 03.03.2025].

Hauff, V., 2015. *Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. [Online]

Available at: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm

[Zugriff am 02. März 2025].

Hawkins, A., 2024. *The Guardian - China's share of global electric car market rises to 76%*. [Online]

Available at: <https://www.theguardian.com/business/2024/dec/03/chinas-share-of-global-electric-car-market-rises-to-76>

[Zugriff am 02. März 2025].

Heimes, H.H. et al., 2024. *Elektromobilität als Schlüsseltechnologie der Mobilitätswende*. [Online]

Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-65812-3_3#citeas

[Zugriff am 04.03.2025].

Henn, C., 2024. *Benzin, Diesel, Elektro & Co.: Antriebsarten im Überblick*. [Online]

Available at: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/alternative-antriebe-uebersicht/>

[Zugriff am 03.03.2025].

Herzig, R., 2023. *E-Fuels im Vergleich: Energieaufwand, Kosten und Nachhaltigkeit*. [Online]

Available at: <https://emobicon.de/e-fuels-vergleich-energieaufwand-kosten-nachhaltigkeit/>

[Zugriff am 03.03.2025].

Höpp, M., 2023. *Wasserstoff als Antriebsalternative - Was steckt dahinter?*. [Online]

Available at: <https://www.adac.de/der-adac/regionalclubs/hessen-thueringen/sicherheit-mobilitaet/wasserstoffautos/>

[Zugriff am 03.03.2025].

Hürtgen, O., 2024. *Elektrofahrzeuge in der Krise: 10 Gründe, warum E-Autos ins Stocken geraten*. [Online]

Available at: <https://www.marktundmittelstand.de/technologie/elektroauto-absatzkrise-2024>

[Zugriff am 04.03.2025].

icct, 2025. *Global-LCA-passenger-cars-FS-DE-jul2021.pdf*. [Online]

Available at: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Global-LCA-passenger-cars-FS-DE-jul2021.pdf>

[Zugriff am 10.03.2025].

iea, 2019. *The Future of Hydrogen*. [Online]

Available at: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

[Zugriff am 03.03.2025].

IEA, 2024. *Global EV Outlook 2024*. [Online]

Available at: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>

[Zugriff am 04 03 2025].

ifeu, 2024. *Klimabilanz von Verbrennern weit schlechter als von E-Autos*. [Online]

Available at:

https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Pressemitteilungen/Pressemitteilung_Klimabilanz_von_Verbrennern_UAAK_01.02.2024.pdf

[Zugriff am 03 03 2025].

Infineon, 2021. *Infineon - Was Sie über Elektromobilität wissen sollten*. [Online]

Available at: <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/elektromobilitaet/>

[Zugriff am 02 März 2025].

IRENA, 2022. *IRENA Hydrogen*. [Online]

Available at: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>

[Zugriff am 03 03 2025].

ISE AG – Arndt Uhlendorff , 2023. *Institut für Seltene Erden und Metalle AG - Seltene Erden: China sitzt fest im Sattel, trotz Millioneninvestitionen des Pentagon*. [Online]

Available at: <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-china-sitzt-fest-im-sattel-trotz-millioneninvestitionen-des-pentagon/>

[Zugriff am 02 März 2025].

ISI, F., 2023. *Elektroauto versus Verbrenner – Kostenanalyse zeigt klaren Vorteil für E-Fahrzeuge*. [Online]

Available at: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2023/presseinfo-04-elektroauto-versus-Verbrenner-Kostenanalyse.html>

[Zugriff am 04 03 2025].

KBA, 2025. *Fahrzeugzulassungen im Dezember 2024 - Jahresbilanz*. [Online]

Available at:

https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2025/pm01_2025_n_12_24_pm_komplett.html

[Zugriff am 04 03 2025].

Kettner Edelmetalle, 2025. *Kettner - Chinas Griff nach der Batterie-Macht: Peking verschärft Kontrolle über Schlüsseltechnologien*. [Online]

Available at: <https://www.kettner-edelmetalle.de/news/chinas-griff-nach-der-batterie-macht-pekings-verscharft-kontrolle-uber-schlusstechnologien-04-01-2025>

[Zugriff am 02 März 2025].

Klimapolitik, G., - . *Europäische Kommission - Folgen des Klimawandels*. [Online]

Available at: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_de#:~:text=Der%20Klimawandel%20k%C3%B6nnte%20zu%20einer,Erdrutschen%20C%20W%C3%BCstenbildung%20und%20%C3%9Cberschwemmungen%20f%C3%BChren.

[Zugriff am 02 März 2025].

Korus, S., 2019. *Electric Vehicles Are Outperforming The Traditional S-Curve Dynamics*. [Online]

[Online]

Available at: <https://seekingalpha.com/article/4273529-electric-vehicles-are->

outperforming-the-traditional-s-curve-dynamics

[Zugriff am 04 03 2025].

Kroher, T., 2022. *ADAC - Treibhausgas-Bilanz: Welcher Antrieb kann das Klima retten?*. [Online]

Available at: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/klimabilanz/>

[Zugriff am 03 03 2025].

Kroher, T., 2024. *Der Hybridantrieb: Mit der Kraft der zwei Herzen*. [Online]

Available at: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/hybridantrieb/>

[Zugriff am 03 03 2025].

Kullik, Jakob , 2019. *Bundesakademie für Sicherheitspolitik Unter dem Radar: Die strategische Bedeutung Seltener Erden für die wirtschaftliche und militärische Sicherheit des Westens*. [Online]

Available at: <https://www.baks.bund.de/de/arbeitspapiere/2019/unter-dem-radar-die-strategische-bedeutung-seltener-erden-fuer-die>

[Zugriff am 02 März 2025].

Ladelösung, -. *E-Autos und Nachhaltigkeit – Herausforderungen & Kritik*. [Online]

Available at: <https://www.ladeloesung.de/wissen-technik/e-autos-nachhaltigkeit>

[Zugriff am 04 03 2025].

Ladelösungen, B., 2025. *Tesla Cybertruck – So geht V2H/V2G*. [Online]

Available at: <https://bidirektionale-wallboxen.de/tesla-cybertruck-v2h-v2g/>

[Zugriff am 04 03 2025].

Lambrecht, U., 2023. *Sechs Bausteine für eine multimodale und klimaschonende Mobilität – Was Akteure tun können*. [Online]

Available at: <https://www.ifeu.de/nachrichtenarchiv/sechs-bausteine-fuer-eine-multimodale-und-klimaschonende-mobilitaet-was-akteure-tun-koennen>

[Zugriff am 04 03 2025].

Legner, K., 2025. *ADAC Autotest: Tops und Flops 2024*. [Online]

Available at: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/technik/bestenlisten-2025.html>

[Zugriff am 03 03 2025].

Liebreich, Michael, 2021. *The Clean Hydrogen Ladder*. [Online]

Available at: https://drive.google.com/file/d/1X-oH04NH1477eig_BmYjtD9mHyTcoiVc/view?pli=1

[Zugriff am 03 03 2025].

meinAuto.de, 2021. *meinauto - Wartungskosten Elektroauto*. [Online]

Available at: <https://www.meinauto.de/lp/ratgeber/wartung-und-verschleis-wie-gunstig-sind-elektroautos>

[Zugriff am 02 03 2025].

Mencke, R., 2024. *Was das E-Auto in Deutschland aktuell unattraktiv macht*. [Online]

Available at: <https://www.mdr.de/nachrichten/deutschland/politik/elektro-auto-kosten-reichweite-akzeptanz-100.html#:~:text=E%2DAutos%20bedienen%20in%20Deutschland,schwanken%20stark%>

20und%20sind%20intransparent.

[Zugriff am 04 03 2025].

Merano, M., 2024. *Tesla Cybercab production to reach 2M a year.* [Online]

Available at: <https://www.teslarati.com/tesla-cybercab-2-million-production/>

[Zugriff am 04 03 2025].

mobil.nrw, 2024. *Wasserstoff: Der Antrieb der Zukunft.* [Online]

Available at: <https://www.mobil.nrw/verbinden/blog/wasserstoff-der-antrieb-der-zukunft.html>

[Zugriff am 03 03 2025].

Nicholas, M., 2020. *Regional Charging Infrastructure Requirements in Germany through 2030.* [Online]

Available at: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/germany-charging-infrastructure-20201021.pdf>

[Zugriff am 04 03 2025].

Normec OWS, 2024. *Normec OWS - ISO 14040/14044 LCA.* [Online]

Available at: <https://normecows.com/sustainability-assessment/iso-14040-14044-lca/>

[Zugriff am 02 März 2025].

Norsk elbilforening, 2024. *Norwegian EV market.* [Online]

Available at: <https://elbil.no/english/norwegian-ev-market/>

[Zugriff am 04 03 2025].

Page, T., 2023. *Unicef - Gegen Kinderarbeit im Kongo vorgehen.* [Online]

Available at: <https://www.united-internet-for-unicef-stiftung.de/aktuelles/blog/blog-detailseite/kinderarbeit-kongo-kobalt/338262>

[Zugriff am 02 März 2025].

Plötz, Patrick, 2020. *REAL-WORLD USAGE OF PLUG-IN Vehicles.* [Online]

Available at: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/PHEV-white-paper-sept2020-0.pdf>

[Zugriff am 03 03 2025].

Powel, J., 2019. *SageJournals - Scientists Reach 100% Consensus on Anthropogenic Global Warming.* [Online]

Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0270467619886266>

[Zugriff am 02 März 2025].

Puls, T., 2024. *iwköln - Die Automobilindustrie im Jahr 2024.* [Online]

Available at: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2024/IW-Report_2024-Automobilindustrie.pdf

[Zugriff am 02 März 2025].

PWC, -. *Der E-Mobility-Check: Wie bereit ist Deutschland?.* [Online]

Available at: <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/branchen/automobil/e-mobility-check.html>

[Zugriff am 04 03 2025].

Qadir, S. A., 2024. *Navigating the complex realities of electric vehicle adoption: A comprehensive study of government strategies, policies, and incentives.* [Online]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X24000865>
[Zugriff am 04 03 2025].

Ramezani, S., 2023. *Quarks - E-Autos: Alles, was du wissen musst.* [Online]
Available at: <https://www.quarks.de/technik/mobilitaet/e-autos-wie-gut-sind-sie-wirklich/>
[Zugriff am 03 03 2025].

Regett, A. e. a., -. *Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V. - Klimabilanz von Elektrofahrzeugen – Ein Plädoyer für mehr Sachlichkeit.* [Online]
Available at: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2020/10/Klimabilanz_Elektrofahrzeugbatterien_FfE-1.pdf
[Zugriff am 03 03 2025].

Rudschies, W., 2023. *ADAC - Elektroauto-Akkus: So funktioniert das Recycling.* [Online]
Available at: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-akku-recycling/>
[Zugriff am 02 03 2025].

Rudschies, W., 2024. *Synthetische Kraftstoffe: Sind E-Fuels die Zukunft der Mobilität?* [Online]
Available at: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/synthetische-kraftstoffe/>
[Zugriff am 03 03 2025].

Space, T. T., 2025. *Elon Musk Reveals New Tesla AI Update!* [Online]
Available at: https://youtu.be/QTFxXs9uLUY?si=uJPZsl3Z2A2h5i_E
[Zugriff am 04 03 2025].

Specht, J. M., 2022. *Vergleich von Wasserstoff und E-Mobilität.* [Online]
Available at: https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/2378/live/lw_datei/fcn_2022_vergleich_von_wasserstoff-und_elektromobilit-C3-A4t_final_02.pdf
[Zugriff am 03 03 2025].

Steigmaier, G., 2023. *Scheitert die E-Antriebswende und wenn ja warum?* [Online]
Available at: <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/elektroauto-antriebswende-15-millionen-ziel/>
[Zugriff am 04 03 2025].

Stephan, M., 2024. *Fraunhofer ISI - Batterierecycling in Europa nimmt weiter Fahrt auf: Recycling-Kapazitäten von Lithium-Ionen-Batterien in Europa.* [Online]
Available at: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/lithium-ionen-batterie-recycling-europa-kapazitaeten-update-2024.html>
[Zugriff am 02 03 2025].

Struss, J., 2023. *Agentur für Wirtschaft und Entwicklung - Das „weiße Gold“: der Abbau von Lithium in Südamerika.* [Online]
Available at: <https://wirtschaft-entwicklung.de/blog/das-weisse-gold-der-abbau-von-lithium-in-suedamerika-1#:~:text=Das%20Lithiumdreieck%20und%20insbesondere%20die,dar%2C%20welcher%20beim%20Lithiumabbau%20anf%C3%A4hrt>
[Zugriff am 02 März 2025].

T&E, 2024. *Scheinlösungen*. [Online]

Available at: <https://www.transportenvironment.org/te-deutschland/themen/lkw/scheinloesungen>
[Zugriff am 03.03.2025].

tagesschau, 2024. *Bis 2035 könnten 140.000 Auto-Jobs verloren gehen*. [Online]

Available at: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/jobs-autobranche-elektroautos-100.html>
[Zugriff am 04.03.2025].

Tesla, 2023. *Tesla - Ergebnisbericht 2023*. [Online]

Available at: https://www.tesla.com/de_DE/impact
[Zugriff am 02. März 2025].

Teubner, Vieweg Verlag, 2008. *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik*. [Online]

Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8348-9503-5_3#:~:text=Wasserstoff%20ist%20mit%20einer%20H%C3%A4ufigkeit,h%C3%A4ufigsten%20im%20Universum%20vorkommende%20Element.
[Zugriff am 03.03.2025].

Tijsseling, L., 2023. *VDA - PRODUCT CARBON FOOTPRINT OF NICKEL*. [Online]

Available at: <https://www.vda.de/de/themen/wirtschaftspolitik/rohstoffe>
[Zugriff am 02. März 2025].

TÜVNord, -. *Wasserstoff-Brennstoffzelle: Funktion & Arten*. [Online]

Available at: <https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-brennstoffzelle/>
[Zugriff am 03.03.2025].

Tyborski, R., 2020. *CO2-Wunder oder Klima-Mogelpackung? So grün ist der Hybridantrieb*. [Online]

Available at: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/faktencheck-elektromobilitaet-co2-wunder-oder-klima-mogelpackung-so-gruen-ist-der-hybridantrieb/26290376.html>
[Zugriff am 03.03.2025].

UmweltBundesamt, 2021. *umweltbundesamt - Emissionsquellen*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#energie-stationar>
[Zugriff am 02. März 2025].

Umweltbundesamt, 2023. *Wasserstoff im Verkehr: Häufig gestellte Fragen (FAQs)*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/kraftstoffe-antriebe/wasserstoff-im-verkehr-haeufig-gestellte-fragen#einleitung>
[Zugriff am 03.03.2025].

Umweltbundesamt, 2024. *Emissionen des Verkehrs*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs>
[Zugriff am 03.03.2025].

Umweltbundesamt, 2024. *Klimavorteil für E-Autos bestätigt*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimavorteil->

fuer-e-autos-bestaetigt
[Zugriff am 04 03 2025].

UmweltBundesamt, 2024. *UmweltBundesamt - Nachhaltige Mobilität*. [Online]
Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/nachhaltige-mobilitaet>
[Zugriff am 02 März 2025].

VCÖ, 2023. *Effizienz verschiedener Antriebsarten*. [Online]
Available at: <https://positionen.wienenergie.at/grafiken/wirkungsgrad-elektroauto-vs-verbrenner-efuels/>
[Zugriff am 03 03 2025].

VDI, 2020. *VDI - Ökobilanz*. [Online]
Available at: <https://www.vdi.de/themen/mobilitaet/vdi-oekobilanz-fuer-pkw-antriebe>
[Zugriff am 02 März 2025].

VDI, 2024. *VDI - Ökobilanz – DIN EN ISO 14040/44*. [Online]
Available at: <https://www.ressource-deutschland.de/leitfaden-re/methoden/oekobilanz-din-en-iso-14040/44/>
[Zugriff am 02 März 2025].

Wagner, R., 2024. *Reichweite von Elektroautos steigt weiter*. [Online]
Available at: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/technik/reichweite-von-elektroautos-steigt-weiter.html>
[Zugriff am 04 03 2025].

Westbrook, J., 2024. *2026 Tesla Model 2/Model C/Model Q: What We Know About the Compact Tesla*. [Online]
Available at: <https://www.motortrend.com/news/tesla-model-2-model-c-model-q-small-ev-future-cars/>
[Zugriff am 04 03 2025].

Wietschel, M. et al., 2021. *Metastudie Wasserstoff – Auswertung*. [Online]
Available at: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/metastudie-wasserstoff.html>
[Zugriff am 03 03 2025].

Wille, J., 2021. *Mit zwei Motoren in die Sackgasse*. [Online]
Available at: <https://www.klimareporter.de/verkehr/mit-zwei-motoren-in-die-sackgasse>
[Zugriff am 03 03 2025].

Windisch-Kern, S. H. A. P. C. e. a., 2021. *Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Herausforderungen und aktuelle Forschungsergebnisse..* [Online]
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-021-01091-5>
[Zugriff am 02 03 2025].

Wietschel, M., 2020. *Fraunhofer ISI - Ein Update zur Klimabilanz von*. [Online]
Available at: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2020/WP-01-2020_Ein_Update_zur_Klimabilanz_von_Elektrofahrzeugen.pdf
[Zugriff am 02 März 2025].