



Über Akasha Research

Was wir tun: Im Rahmen von Akasha Research recherchieren Personen aus den Bereichen Politik-, Natur-, Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, sowie aus Medizin, Bildung und IT zu drängenden Themen unserer Zeit. Dazu gehören unter anderem Public Health, Mobilität, Umwelt- und Klimaschutz.

In unseren Veröffentlichungen setzen wir uns mit diesen Themen in einer interdisziplinären, wissenschaftlichen und synergistischen Art und Weise und aus einer unabhängigen, ganzheitlichen Perspektive auseinander, arbeiten essenzielle Aspekte heraus und stellen diese im Zusammenhang dar. Ziel dabei ist Synergien zu schaffen sowie Anstöße zum Handeln und für weiterführende Untersuchungen zu geben. Adressaten sind Entscheidungsträger, Personen mit wissenschaftlichem Interesse, sowie die breite Bevölkerung.

Unsere Motivation: In einer vernetzten Welt, die von existenziellen Krisen und politisch-wirtschaftlichen Umbrüchen geprägt ist, können komplexe Fragestellungen nicht isoliert betrachtet oder von Eigeninteressen motiviert behandelt werden. Inspiriert durch die universelle Vision der Akasha Academy des Buddhistischen Meisters Tulku Khyungdor Rinpoche, suchen wir nach praktischen Antworten, die auf Fakten basieren und dem Wohle aller dienen. Unsere buddhistische Basis bezieht sich auf die universellen Prinzipien unserer Existenz: Wir alle leben auf diesem Planeten und teilen die gleichen Ressourcen und Elemente. Wir alle tragen Verantwortung für das große Ganze.

*„We all breathe the same air, we all drink the same water,
we all walk on the same earth.“ TK Rinpoche*

Information zum Akasha Research Netzwerk:

Homepage: <https://www.akasha-academy.org/akasha-research/>

Mail: research@akasha-academy.org

Brave new world: The green conscience of electromobility

Schöne neue Welt. Das grüne Gewissen der Elektromobilität

Über das Paper

Dieses Paper beleuchtet das Thema Elektromobilität, auf der die große Hoffnung für einen zukünftig klimafreundlichen Verkehr ruht. Der erste Abschnitt fasst zusammen, warum Elektrofahrzeuge eine Schlüsselrolle für die Transformation des Transportsektors spielen. Anhand des Lebenszyklus eines E-Autos werden relevante Aspekte und Auswirkungen des großflächigen Einsatzes in Abschnitt 2 dargestellt. Die wichtigsten Punkte dazu werden im letzten Abschnitt zusammengefasst.

Ansprechpartner: Dr. Julia Borhardt und Alexa Schaeegner

Version: Langfassung, 01.02.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Die positive Klimabilanz von E-Fahrzeugen als Hoffnungsträger der Mobilitätswende	3
2	Theorie und Praxis: Voraussetzungen, Herstellung, Nutzung und Entsorgung.....	5
2.1	Ökostrom als Grundlage für E-Mobilität	5
2.1.1	Gesamt- und Ökostrombedarf im Jahr 2030	6
2.1.2	Ausblick auf die Ökostromentwicklung	7
2.2	Herstellung	8
2.3	Laden	9
2.3.1	Ladeinfrastruktur	9
2.3.2	Ladevorgang	10
2.4	Fahren.....	11
2.5	Entsorgung.....	12
2.6	Erhöhte Exposition von Menschen und Umwelt durch elektromagnetische Felder	12
2.7	Offene Fragen zum Datenschutz	13
3	Schlussfolgerungen & Handlungsempfehlungen	14
	Stromproduktion als Schlüssel für Umsetzbarkeit von E-Mobilität	14
	Mögliche (gesundheitliche) Auswirkungen auf Mensch & Umwelt	14
	Regelung offener Fragen zum Datenschutz	15
	Transparenz von Forschungsdaten für Batterieproduktion und -sicherheit.....	15
4	Referenzen.....	15

1 Die positive Klimabilanz von E-Fahrzeugen als Hoffnungsträger der Mobilitätswende

Elektromobilität ist das **Herzstück der umweltfreundlichen, klima- und ressourcenschonenden Mobilitätskonzepte** der Zukunft. E-Fahrzeuge zeichnen sich dadurch aus, dass sie elektrisch angetrieben werden, einen Energiespeicher (Batterie) mit sich führen und ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen. Insbesondere E-Autos gelten damit als Schlüssel der von Politik und Industrie angestrebten Wende in Richtung eines grünen, klimafreundlichen Verkehrssystems. Im Gegensatz zu Benzin- oder Dieselfahrzeugen stoßen E-Autos während der Fahrt kein CO₂ aus, fahren nahezu geräuschlos und gelten als insgesamt energieeffizienter und aus Käufersicht günstiger als vergleichbare Modelle mit Verbrennungsmotor.

Das **deutsche Klimaschutzgesetz** sieht vor, verkehrsbedingte Treibhausgasemissionen (aktuell ein Fünftel der Gesamtemission (1)) in den nächsten zehn Jahren stark zu reduzieren und so im Jahr 2030 nur noch 40 bis 42 % des Wertes von 1990 zu erreichen. Um das möglich zu machen, sollen bis 2030 in Deutschland etwa 14 Mio. Elektrofahrzeuge zugelassen sein (2).

Die **Energieeffizienz von Elektromotoren** tragen dabei wesentlich zur positiven Klimabilanz der Fahrzeuge bei. Das E-Fahrzeug setzt nach Abzug der Verluste, die durch Laden der Batterie und bei der Bereitstellung des Stroms anfallen, 64 % der Energie in Bewegung um. Das E-Auto ist damit etwa dreimal so effizient wie ein Fahrzeug mit einem konventionellen Verbrennungsmotor (vgl. *Abbildung 1*) (3).

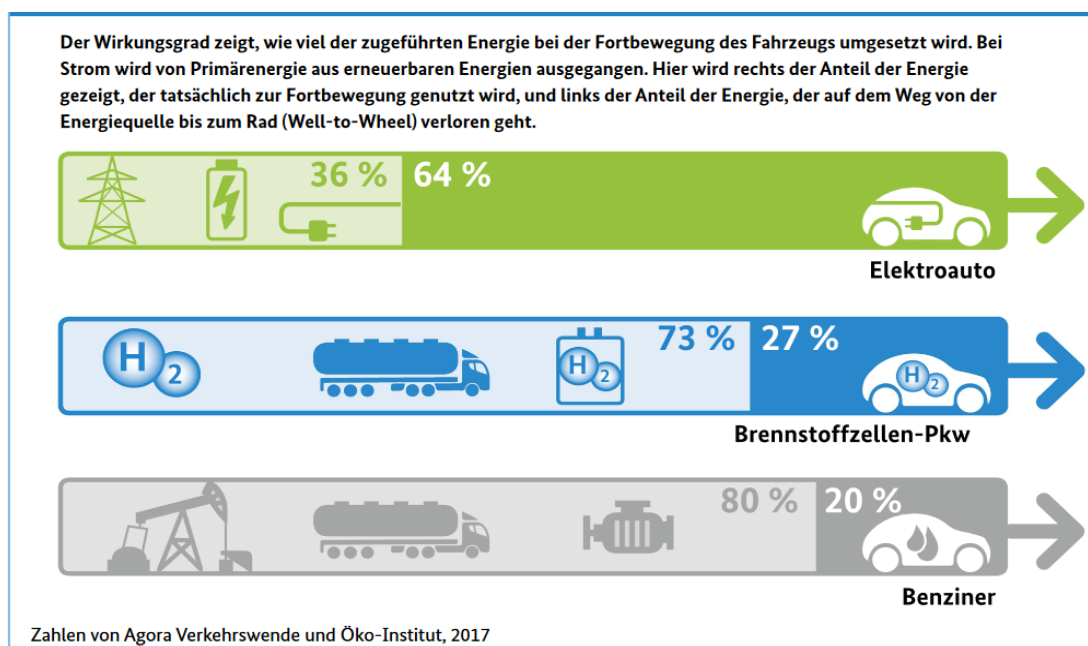


Abbildung 1: Wirkungsgrad von Elektroautos (3)

Insbesondere im Stadtverkehr gelten E-Autos als effizienter und klimafreundlicher als Verbrenner. Das liegt unter anderem daran, dass sie einen hohen Wirkungsgrad haben und

aufgrund des umgehend zur Verfügung stehenden hohen Drehmoments schneller und energiesparsamer aus dem Stand beschleunigen können (4). Bei Verbrennern sinkt der Wirkungsgrad im städtischen Teillastbereich deutlich. Außerdem werden im Stadtbereich meist kürzere Strecken zurückgelegt, wodurch die Batterien kleiner ausgelegt werden können, was die Klimabilanz ebenfalls entlastet (5).

Im **Bereich der Batterieproduktion** wird aktuell insgesamt viel geforscht, um die Klimabilanz weiter zu verbessern. Gegenwärtig ist die Klimawirkung der Batterieproduktion noch relativ hoch (vgl. *Abschnitt 2.2*). Untersuchungen zur Batterieforschung sagen allerdings voraus, dass bis 2030 bei gleicher Kapazität etwa eine Halbierung der mit der Herstellung verbundenen Klimawirkung möglich ist (6).

Weiterhin wird die Klimabilanz von E-Mobilität durch die Entwicklung der CO₂ Intensität des verwendeten Strommix beeinflusst. **Je mehr Ökostrom zur Verfügung steht, umso positiver ist die Klimabilanz von Elektrofahrzeugen.** Wenn außerdem sichergestellt ist, dass Ökostrom für E-Mobilität und andere Stromverbrauchsgruppen wie Industrie und Gewerbe gleichermaßen zur Verfügung steht, kann sich die Klimabilanz nachhaltig verbessern (vgl. *Abschnitt 2.1*) (7).

Vor diesem Hintergrund bescheinigt eine der führenden Studien zur Verkehrswende *Agora Verkehrswende* eine insgesamt positive Klimabilanz von E-Autos bezogen auf die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs (vgl. *Abbildung 2*).

„Selbst wenn kein Ökostrom geladen wird, ist ein E-Auto nach 60.000 Kilometern Laufleistung klimafreundlicher als ein Benziner, ab 80.000 Kilometern klimafreundlicher als ein Diesel.“ (6)

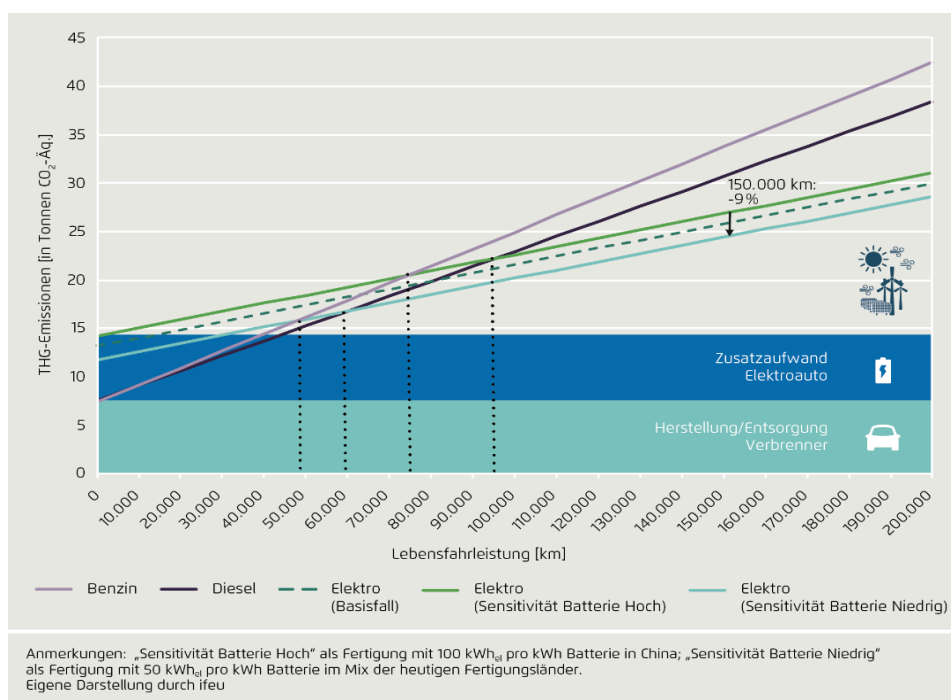


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen von E-Autos der Kompaktklasse unter Berücksichtigung der Energie- wende und unter unterschiedlichen Fertigungsbedingungen in Abhängigkeit von Lebensfahrleistung (6)

Die Kosten stehen nicht im direkten Zusammenhang mit der Klimabilanz, sind aber immer wieder ein entscheidendes Argument für die Akzeptanz von E-Fahrzeugen bei zukünftigen Käufern. Obwohl das E-Fahrzeug einen hohen Preis in der Anschaffung hat, rentiert sich ein E-Fahrzeug aufgrund der geringen Stromkosten, gegenüber den Kosten von Benzin oder Diesel (3). Dazu kommt, dass der hohe Kaufpreis eines E-Autos durch eine Prämie in Höhe von mindestens 6.000 Euro für E-Autos und 4.500 Euro für Plug-in-Hybride von der Bundesregierung ein Stück aufgefangen wird (8). Der ADAC führt noch präzisere Analysen durch und bezieht außerdem Faktoren wie Versicherung, Kfz-Steuer, Ausgaben für Wartung und Reparaturen, Reifenverschleiß und die Wagenpflege in ihre Untersuchungen mit ein:

„Rechnet man alle Kosten eines Autos zusammen, vom Kaufpreis über sämtliche Betriebs- und Wartungsaufwände bis zum Wertverlust, schneiden Elektroautos immer häufiger besser ab als Verbrenner.“ (9)

2 Theorie und Praxis: Voraussetzungen, Herstellung, Nutzung und Entsorgung

Das Potenzial von E-Mobilität wird häufig nur anhand der Aspekte, die für Verbrennungsmotoren bekannt und relevant sind, bewertet. Für ein umfassendes Bild müssen jedoch darüber hinaus für E-Mobilität spezifische Aspekte wie die Verfügbarkeit von Ökostrom, die Umweltbilanz der Batterieproduktion, -ladung und -entsorgung sowie der Einfluss von elektromagnetischen Feldern (EMF) auf Mensch und Natur und deren Wechselwirkungen untereinander diskutiert werden. Außerdem kommen beim Ladevorgang auch Fragen zum Datenschutz zum Tragen. Im Folgenden soll im Rahmen des „Lebenszyklus“ eines E-Autos aufgezeigt werden, wo weitere Untersuchungen für eine realistische Einschätzung des Einsatzes von E-Mobilität notwendig sind.

2.1 Ökostrom als Grundlage für E-Mobilität

Mit dem Klimaschutzgesetz von 2021 (1) ist im Verkehrssektor eine Reduktion von 65 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr 2030 gegenüber 2020 vorgesehen, was unter anderem durch einen beschleunigten Ausbau der E-Mobilität erreicht werden soll (6). Bisher ging die Bundesregierung davon aus, dass bis 2030 etwa **7 bis 10 Mio. Elektrofahrzeuge** auf deutschen Straßen fahren müssen, um die gesteckten Klimaziele zu erreichen (10). Diese Zahl wurde durch eine Analyse einer die Bundesregierung beratenden Expertengruppe im Juli 2021 deutlich nach oben korrigiert. Demnach müssen mindestens **13 bis 14 Mio. E-Autos bis 2030 zugelassen** sein. Modellrechnungen zeigen, dass dafür im Jahr 2030 rund 80 % der Neuzulassungen Fahrzeuge mit Elektroanteil sein müssen. (2)

Die Verfügbarkeit von Strom ist wesentliche Voraussetzung des breiten Einsatzes von E-Mobilität. Insbesondere ergibt sich die positive Klimabilanz von E-Autos aus der Nutzung von Ökostrom für den **Antrieb** sowie den **Herstellungs- und Recyclingprozess** (6). Dieser **Mehrbedarf an Ökostrom entsteht dabei zusätzlich zu einem wachsenden Gesamtbedarf an Ökostrom**, der aus dem Wegfall von Atomenergie und Kohlestrom im Rahmen der Energiewende resultiert (vgl. Klimaschutzgesetz 2021 (1)) (11). So ist in der aktuellen Fassung

des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) festgelegt, dass bis 2030 mindestens 65 % des in Deutschland insgesamt erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien stammen soll (12). Fraglich ist, ob die Verfügbarkeit von Strom im Allgemeinen und Ökostrom im Besonderen für den flächendeckenden Einsatz von E-Autos überhaupt gewährleistet werden kann.

2.1.1 Gesamt- und Ökostrombedarf im Jahr 2030

Auf Grundlage der Strombedarfsentwicklung der letzten Jahre ging die Bundesregierung bis vor Kurzem davon aus, dass der Bruttoinlandsstromverbrauch in den nächsten neun Jahren bis 2030 konstant bei rund **580 Terawattstunden (TWh)** liegen wird (13). Eine vom Wirtschaftsministerium in Auftrag gegebene Ad-Hoc Prognose vom Juli 2021 (14) sagt einen 13 % höheren Wert voraus und rechnet mit **mindestens 655 TWh**. Als besonders bedarfssteigernd werden **E-Mobilität, elektrische Wärmepumpen und die Wasserstoffproduktion** genannt. In die Prognose sind bereits verbrauchsensenkende Effekte wie Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, Struktureffekte und der verringerte Kraftwerkseigenverbrauch durch Kohle- und Atomanlagen einbezogen (15).

Studien	Prognose für 2030	Zusätzl. Mehrverbrauch gegenüber 2019 in TWh
BEE-Szenario 2030	745	174
dena Leitstudie 2018, Szenario TM80	745	174
dena Leitstudie 2018, Szenario EL80	886	315
BMVI Studie IEK 2050 ¹¹	750 bis 790	179 bis 219
EWI 2019	748	177
AGORA 2020	643	72
Fraunhofer 2021	700 bis 780	129 bis 209

Abbildung 3: Vergleich der Erwartungen zur Entwicklung des Bruttostromverbrauchs im Jahr 2030 (16)

Aktuelle Berechnungen vom Bundesverband Erneuerbarer Energien (BEE), vom Fraunhofer Institut und von anderen Studien (vgl. *Abbildung 3*) sagen einen Verbrauch von sogar bis zu **780 TWh** im Jahr 2030 voraus. Auf Grundlage der Zahlen des BEE entfallen rund ein Viertel des zusätzlichen Strombedarfs auf E-Mobilität. *Abbildung 4* zeigt, wie sich der Gesamtstromverbrauch im Vergleich der Jahre 2019 und 2030 zusammensetzt sowie eine detaillierte Aufschlüsselung des zusätzlichen Bedarfs auf die entsprechenden Sektoren.

Im aktualisierten EEG wird ein Anteil von 65 % erneuerbarer Energien vorgeschrieben, was bei einem Gesamtstromverbrauch von 740 TWh (vgl. BEE Szenario) einen **Bedarf von 481 TWh Ökostrom** bedeutet (17). Dies steht dem Ökostrombedarf von 372 bis 382 TWh gemäß dem Szenario der Bundesregierung gegenüber, die mit circa 580 TWh Gesamtbedarf rechnet. Das BEE konstatiert hier eine „**Ökostromlücke**“ von etwa 100 TWh pro Jahr – eine Lücke, die bisher nicht in den aktuellen Ausbauplänen des EEG berücksichtigt ist (17). Andere Studien kommen teilweise zu einer kleineren „Lücke“ als das BEE, zeigen aber einen ähnlichen Trend (18). Festzustellen ist: Eine realistische, auf einer konsistenten Datenbasis be-

ruhende Planung ist grundlegend dafür, dass E-Mobilität den Erwartungen zur positiven Klimabilanz gerecht werden kann.

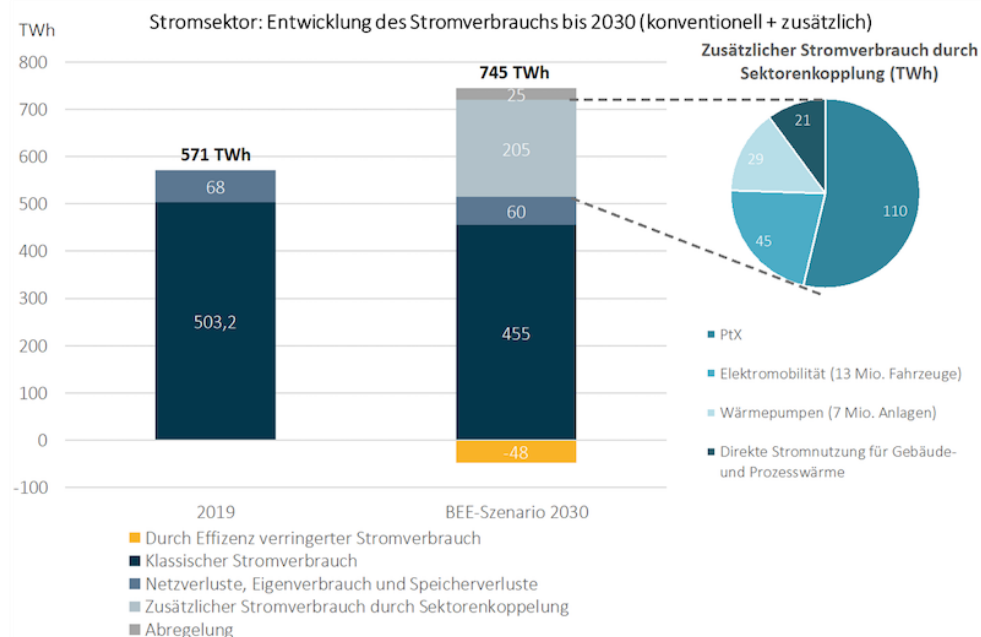


Abbildung 4: Entwicklung des Stromverbrauchs im Jahr 2030 und Aufschlüsselung auf die unterschiedlichen Sektoren (16)

2.1.2 Ausblick auf die Ökostromentwicklung

Um im Jahr 2030 481 TWh des Gesamtstromverbrauchs mit erneuerbaren Energien decken zu können, müssen über die nächsten Jahre die Kapazitäten deutlich erhöht werden. Das BEE-Szenario (17) stellt heraus, dass ein jährlicher Zubau an Infrastruktur zum Erzeugen erneuerbarer Energien in folgender Größenordnung notwendig ist:

- Windenergie Onshore: 4.700 MW
- Windenergie Offshore: 2.000 MW
- Photovoltaik: 10.000 MW
- Bioenergie: 600 MW
- Wasserkraft: 50 MW
- Geothermie: 50 MW

Im Vergleich: Die Pläne der Bundesregierung, die im EEG festgeschrieben sind, sehen aktuell eine Steigerung der Windenergie Onshore auf 71 Gigawatt (71.000 MW) sowie der Photovoltaik auf 100 Gigawatt (100.000 MW) bis 2030 vor (19). Diese Zunahme entspricht nur in etwa der Hälfte dessen, was das BEE Szenario an notwendigem Ökostromzubau zur Erreichung der Klimaziele identifiziert hat.

Die praktische Umsetzung der politisch festgelegten Ziele für den Zubau stagniert seit Jahren. Zum einen hat dies rechtliche und bürokratische Gründe bei der Vergabe des Zubaus

der Anlagen. (20) Zum anderen stehen insbesondere Wind- und Solarparks, die die meiste Energie generieren, immer wieder im Mittelpunkt kritischer Auseinandersetzungen. Dabei geht es vor allem um die Frage, wie der hohe Flächenbedarf ohne Zerstörung von Naturraum wie beispielsweise Waldflächen einhergehen kann. Im Rahmen der Energiewende sollte der Erhalt natürlicher CO₂-Speicher und Sauerstoffproduzenten bedacht werden. Der Umweltverband NABU fordert in dem Zusammenhang eine Optimierung der Flächenplanung und des Genehmigungsverfahrens, damit Naturschutzbelange beim Windenergieausbau adäquat berücksichtigt werden können (21).

Einige Wissenschaftler möchten daher den Ausbau der Offshore Windkraftanlagen vorantreiben, wobei der Ausbau der zugehörigen Netz-Infrastruktur wiederum Herausforderungen in sich birgt (22). Vor diesem Hintergrund ist eine Gesamtbetrachtung mit realistischer Folgenabschätzung der verschiedenen Ausbauszenarien zwingend erforderlich.

2.2 Herstellung

Die Herstellung von E-Autos unterscheidet sich vor allem in der Batterieproduktion von Modellen mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren. Die energie- und ressourcenintensive Fertigung der größtenteils verwendeten Lithium-Ionen-Batterie hat dabei signifikante Auswirkungen auf die gesamte Klimabilanz von E-Autos. In einer umfassenden Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung (ifeu) von 2019 heißt es, ein Elektroauto mit einer Batteriekapazität von 35 kWh zeige „für die Herstellung des gesamten Fahrzeugs eine fast doppelt so hohe Klimawirkung wie bei vergleichbaren Verbrennungsfahrzeugen“ (6).

Modellrechnungen des schwedischen Instituts IVL aus dem Jahr 2019 zufolge werden bei der Batteriefertigung weltweit durchschnittlich zwischen 61 und 106 kg CO₂-Äquivalente pro 1 kWh Batteriekapazität erzeugt (23). Diese Bilanz hängt maßgeblich vom **Produktionsstandort und dem verwendeten Strommix** ab. Aktuell findet ein Großteil der Zellproduktion in China statt. Die Angaben über den fossilen Anteil am Strommix in China variieren zwischen 30 und 70 %, was eine genaue Prognose erschwert (24). Geplant ist einen Großteil der Produktion bis 2030 nach Deutschland und in andere europäische Länder zu verlagern (25). Ob das umsetzbar ist und inwieweit sich die Klimabilanz der Batterieherstellung dadurch verbessern wird, ist aufgrund der dünnen Datenlage schwer zu beurteilen.

Neben dem Energieeinsatz und verwendeten Strommix spielen für die **Klimabilanz** der Produktion insbesondere die **Batteriegröße** und die verwendeten **Rohstoffe** eine Rolle.

Aktuell gilt, je größer die Batterie, umso höher der Stromverbrauch und die Klimabelastung. Es wird **viel Forschung** betrieben, um Batterien kleiner und weniger ressourcenintensiv produzieren zu können. Allerdings liegen zu den durch die Batterieherstellung verursachten Treibhausgasemissionen wie auch der prognostizierten Veränderungen nur wenige belastbare und aktuelle Daten vor, wie die Agora Verkehrswende konstatiert. Viele Studien werden von Akteuren aus der Industrie durchgeführt, die ihre Daten aus Wettbewerbsgründen kaum detailliert veröffentlichen. (6) Dazu kommt, dass die existierenden Untersuchungen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen, wie *Abbildung 5* zeigt. Um informierte politi-

sche Entscheidungen treffen zu können, ist Transparenz bezüglich der Forschungsdaten zur Klimabilanz der Batterieproduktion dringend erforderlich.

Mit einem wachsenden Bedarf an Batterien für E-Autos stellt sich die Frage nach der ausreichenden Verfügbarkeit von Rohstoffen. Für die Batterieherstellung werden seltene Erden und Metalle verwendet, deren ausreichende Verfügbarkeit je nach globaler Verteilung und politischer Lage in den Herkunftsländern nicht gesichert ist (23). Dazu kommt, dass die Extraktion einiger Metalle komplexer ist als die anderer. Das Schürfen dieser Metalle ist außerdem je nach Land mit sozioökonomischen Fragen verbunden. Recycling von alten Batterien (siehe *Abschnitt 2.5*) wird als eine Möglichkeit genannt, um dem entgegenzuwirken.

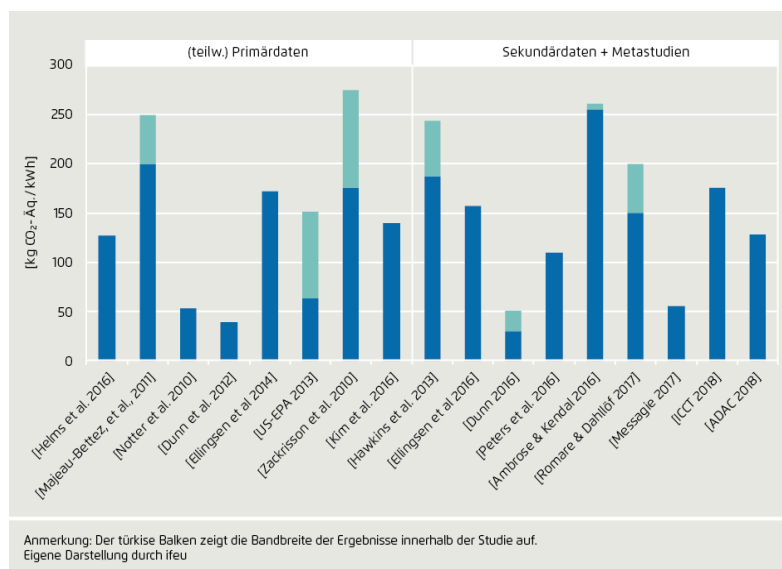


Abbildung 5: Vergleich der Treibhausgasemissionen aus der Batteriefertigung (6)

Durch die hohe Energiedichte, reaktionsfreudigen Inhaltsstoffe und Sensitivität der Lithium-Ionen-Batterien gegen äußere Bedingungen stellen sich außerdem Fragen zu deren Sicherheit. Im Falle von Fehlfunktionalität, die u.a. im Zuge des Alterns oder bei Unfällen auftreten können, kann sich die Batterie in Sekunden auf mehrere hundert Grad Celsius aufheizen und schwer zu löschende Brände oder gar Explosionen verursachen (26; 27). Diese können auch verzögert nach Beschädigung der Batterie auftreten. Daher ist es wichtig, die Sicherheit der Lithium-Ionen-Batterien realistisch zu bewerten und für Käufer transparent darzustellen.

2.3 Laden

2.3.1 Ladeinfrastruktur

Der Ausbau der E-Mobilität hat einen erheblichen Zuwachs an Ladeaktivität über unsere Stromnetze zur Folge. Das E-Auto kann entweder an öffentlichen E-Tankstellen/Ladestationen oder je nach den Gegebenheiten Zuhause oder am Arbeitsplatz geladen werden.

Der Ausbau öffentlicher Ladestationen wird zwar stark forciert, geht aber nur schleppend voran. Einer Umfrage unter E-Fahrzeugnutzern des ADAC aus dem Jahr 2021 zeigt, dass aktuell nur jeder Vierte eine Ladesäule im öffentlichen Raum zur Verfügung hat und die meisten Nutzer Zuhause laden (28). Dies hat auch ökonomische Vorteile, da der Strom von unterwegs aktuell noch sehr teuer ist (29). Fraglich bleibt, ob der Ausbau dem angestrebten Bedarf zeitnah gerecht und Strom zu einem attraktiven Preis bereitgestellt werden kann.

Das Laden Zuhause oder am Arbeitsplatz erfolgt über eine Wallbox (30). Über eine haushaltsübliche Steckdose kann das E-Auto zwar prinzipiell geladen werden, sie sollte aber aus Sicherheitsgründen nur im Notfall genutzt werden (31). Mit wachsenden Neuzulassungen von E-Fahrzeugen ist außerdem der Einsatz eines elektronischen Lademanagements nötig, um die Netzbelastung beim Laden mehrerer Autos, beispielsweise in Mehrfamilienhäusern oder am Arbeitsplatz, auszugleichen (32). Dabei kommen Fragen zum Datenschutz zum Tragen, die in *Abschnitt 2.7* diskutiert werden.

Vor dem Hintergrund des wachsenden Bedarfs an Ökostrom (vgl. *Abschnitt 2.1*) wird der Ausbau von heimischen Photovoltaikanlagen für das Laden unter anderem von Fachverbänden forciert (33). Zusätzlich wird die Anschaffung eines Batteriespeichers empfohlen, mit dem der Solarstrom nach Bedarf verwendet werden kann. Zu beachten ist, dass durch diese **Art der Stromerzeugung und vor allem der Speicherung ein dauerhaftes EMF** auf den jeweiligen Dächern und am Standort der Batterie erzeugt wird, zu deren Auswirkungen auf Mensch und Umwelt kaum wissenschaftliche Studien existieren (siehe *Abschnitt 2.6*).

2.3.2 Ladevorgang

Für die Langlebigkeit der Batterie von E-Autos wird ein Ladestand zwischen 20 und 80 % empfohlen, da sowohl eine Tiefenentladung (0 %) als auch dauerhafte Vollladung (100 %) die Batterie schädigen können. Zu beachten ist dabei, dass Batterien sich **im Stand selbst entladen**. Die Verluste durch Selbstentladung sind abhängig von der Außentemperatur und werden in der Fachliteratur zwischen 1 und 5 % angegeben. Dies hat zur Folge, dass die **Batterien praktisch ständig geladen** und der **Ladestand anhaltend kontrolliert** und ausgeglichen werden muss (34). Zu beachten ist, dass beim Laden zwangsläufig EMF entstehen. Die Auswirkungen auf Mensch und Natur, wenn Millionen von E-Autos ständig geladen werden müssen und damit kontinuierlich EMF in die Umgebung abstrahlen, wurden bisher unzureichend untersucht (vgl. *Abschnitt 2.6*).

Zusätzlich zur Selbstentladung ist ein **Ladeverlust während des Ladevorgangs** zu beachten, der einer Untersuchung der gängigen Fahrzeugmodelle des ADAC zufolge zwischen 10 und 25 % liegt. Dieser Verlust wird nicht in den Bordcomputern der Fahrzeuge angegeben und führt daher zu Unklarheiten über den tatsächlichen Stromverbrauch. (35) Außerdem bedeutet der Ladeverlust eine Abgabe von Wärme an die Umgebung. Zu wenig ist der Einfluss dieser Wärmeabgabe für die Umwelt bei einem großflächigen Einsatz von E-Autos untersucht.

In Zusammenhang zur Wärmeabgabe und den erzeugten EMF ist die Möglichkeit des Austritts von elektrochemischen Dämpfen aus der Batterie zu untersuchen. Bekannt ist, dass sich die elektrischen Eigenschaften von Luft durch eine hohe Schadstoffkonzentration än-

dern. Diese Eigenschaften bestimmen, wie die EMF auf die Luftpartikel wirken. In Verbindung mit den reaktionsfreudigen, elektrochemischen Stoffen, insbesondere in einer aufgeheizten Umgebung, ist die Gefahr von Bränden und Explosionen zu bewerten.

Das Wetter, insbesondere die Umgebungstemperatur, haben erheblichen Einfluss auf Ladekapazität und Ladedauer. Sehr niedrige Temperaturen verringern die Ladekapazität und erhöhen die Ladedauer (36). Hingegen können Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen sowie starke Temperaturwechsel die Batterie selbst schädigen. Die Konsequenz ist, dass der Fahrer eines E-Autos auf entsprechende Bedingungen für eine nachhaltige Nutzung des Fahrzeugs achten muss.

Insbesondere auf Langstrecken mit einem E-Auto ergibt sich die Notwendigkeit, die Batterie wieder schnell aufzuladen. Hier ist zu beachten, dass das sogenannte **Schnellladen** an öffentliche Ladestationen aktuell zu einem deutlich höheren Verschleiß der Batterie führt als langsames Laden (36). Schnelles Laden wird daher nur in Ausnahmefällen empfohlen.

Aufgrund der Sensitivität der Batterie gegenüber der Umgebungstemperatur, dem Lade- und Entladeverhalten und extremen Ladezuständen wird ein Batteriemanagementsystem eingesetzt, das den Zustand jeder einzelnen Zelle überwacht (37). Dies wirft datenschutzrechtliche Fragen auf (siehe *Abschnitt 2.7*).

2.4 Fahren

In Untersuchungen zeigt sich, dass die Energieeffizienz von E-Autos von der Geschwindigkeit abhängt. Während E-Autos bei niedrigen Geschwindigkeiten im Stadtverkehr einen Vorteil gegenüber Modellen mit Verbrennungsmotoren vorweisen können, arbeiten bei hohen Geschwindigkeiten Verbrenner effizienter (6). Das gilt insbesondere für Hybridwagen, die insgesamt eine geringere Batteriekapazität aufweisen und deutlich schwerer sind als Fahrzeuge mit reinem Elektro- oder Verbrennungsmotor (38). Diese Tatsache findet kaum Eingang in die Entwicklung von Mobilitätskonzepten. In ganzheitlichen Modellen sollte der Einsatz von E-Autos in den Kontext aller zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel gesetzt werden.

Wie beim Laden entstehen auch beim Fahren von **E-Fahrzeugen EMF** (39). Die vorwiegenden Frequenzen liegen im Nieder- (0,1 Hz bis 1 kHz) und Zwischenfrequenzbereich (1 kHz bis 10 MHz). Die EMF sind vor allem beim Anfahren und Bremsen verstärkt nachweisbar (39). Unabhängig vom Fahrzeugantrieb werden außerdem von den elektrisch betriebenen Apparaturen moderner Autos wie Klimaanlage, Lüfter und Sitzheizung EMF erzeugt. Durch die vielfach installierten drahtlosen Multimedia-Anwendungen wie z.B. durch Bluetooth entstehen zusätzlich hochfrequente EMF im Bereich von 100 kHz bis 300 GHz. Die durch diese Quellen hervorgerufenen Felder können ähnlich stark sein wie die der elektrischen Antriebe der Fahrzeuge (40). Die potenziell gesundheitlichen Folgen der Wechselwirkung zwischen diesen Feldern sind bisher kaum untersucht worden (siehe *Abschnitt 2.6*).

Während E-Autos dafür stehen, das Problem der Feinstaubemission in Abgasen zu lösen, betont der OECD-Bericht (41), dass die Nicht-Auspuff-Feinstaubemissionen weiterhin ein Problem darstellen. Dieser Feinstaub entsteht unter anderem durch Reifenabrieb. Die im

Vergleich zu einem Verbrenner geringeren Emissionen eines leichten Elektrofahrzeugs werden durch das generell höhere Gewicht von E-Fahrzeugen aufgrund ihrer Batterien und der von den Kunden bevorzugten Größe der Fahrzeuge wettgemacht oder sogar noch erhöht. Im Gegensatz zu Feinstaubemissionen in Abgasen sind Nicht-Auspuff-Feinstaubemissionen weitestgehend unreguliert. (41)

2.5 Entsorgung

Autohersteller empfehlen das Wechseln der Batterien nach etwa 8 Jahren oder einer Laufleistung von ca. 160.000 km (37). In der Realität kann der Wechsel je nach Nutzungsverhalten deutlich früher notwendig werden (siehe *Abschnitt 2.3.2* zum Ladevorgang). Generell gilt eine Batterie als verschlissen, wenn die Ladekapazität nicht mehr über einen Wert von rund 80 % steigt. Da sie technisch dennoch funktionieren, werden viele Akkus als „second life“ Batterien wiederverwendet, beispielsweise als stationäre Speicher für Photovoltaik-Anlagen oder in mobilen Schnellladesäulen. Wenn sie auch dafür nicht mehr brauchbar sind, startet der Recycling-Prozess (42).

Das Recycling der ausgewechselten Batterien gilt prinzipiell als technisch machbar, aber energieaufwendig. Im Vergleich zu Batterien in konventionellen Verbrennern, sind die verwendeten Lithium-Ionen-Batterien größer, schwerer und bestehen aus mehreren hundert Zellen, die einzeln zerlegt werden müssen. Die Stoffe sind nicht nur hochgiftig, sondern auch leicht explosiv. Besondere Anforderungen gelten daher beim Transportieren und Lagern. Mutmaßlich werden bisher lediglich 5 % der Batterien oder weniger recycelt. (43)

Wiederverwertet werden vor allem die wertvollen Metalle Kobalt und Nickel, gefolgt von Kupfer sowie Eisen/Stahl und Aluminium. Die aktuell dynamische Anpassung von Zellchemie und Batteriedesign machen eine Standardisierung des Recyclings allerdings schwer. Eine Entsorgungsinfrastruktur besteht bisher praktisch nicht. Die kleine Anzahl bisher produzierter Batterien und fehlende ökonomische Anreize führen wiederum dazu, dass es wenig belastbare Daten und Prognosen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz des Recyclings gibt. (44) Die wenigen, aktuell verfügbaren Bewertungen und Prognosen gehen jedoch davon aus, dass das Recycling zukünftig einen positiven Einfluss auf die Klimabilanz haben könnte (23). Genauere Bedingungen, unter denen das Recycling einen Vorteil für die Klimabilanz bietet, sollten unbedingt näher wissenschaftlich durch Hersteller sowie unabhängige Einrichtungen erforscht werden. Auch die politischen Rahmenbedingungen gelten als überholt. Verbindliche Recyclingvorgaben sollten nach den wissenschaftlichen Ergebnissen ausgerichtet und am besten auf EU-Ebene festgelegt werden (42).

2.6 Erhöhte Exposition von Menschen und Umwelt durch elektromagnetische Felder

Wie bereits beschrieben geht mit dem Einsatz von E-Mobilität eine erhöhte Exposition von Menschen und Umwelt durch EMF einher (45). Die Felder der einzelnen Systeme in E-Fahrzeugen sind so stark, dass sie vor gegenseitiger Beeinflussung abgeschirmt werden müssen. Dies geschieht auf Basis der Richtlinien zur elektromagnetischen Verträglichkeit von elektrischen Systemen untereinander (siehe (46)). Hingegen wird der Einfluss der EMF

von E-Autos auf Menschen und Umwelt kaum wissenschaftlich untersucht. Beim Laden und Fahren werden vor allem statische elektrische und magnetische Felder, sowie nieder- und zwischenfrequente EMF erzeugt. Hochfrequenten EMF gehen außerdem von Apparaturen moderner Fahrzeuge wie der Klimaanlage, Sitzheizung, Lüftung und Multimedia aus. Auch über die gesundheitlichen Effekte der Wechselwirkung der Felder untereinander sind bisher praktisch keine Untersuchungen angestellt worden.

Bekannt ist, dass nieder- und hochfrequente EMF biologische Wirkungen, wie z.B. eine Stimulation von Nerven bis hin zur Störung der Nervenleitgeschwindigkeit oder eine teilweise starke Erwärmung von Körpergewebe hervorrufen können (47). Nach derzeitigem, wissenschaftlichem Kenntnisstand konnte eine krebserregende Wirkung nicht nachgewiesen aber auch nicht sicher ausgeschlossen werden. So schätzt die International Agency for Research on Cancer (IARC) sowohl niederfrequente als auch hochfrequente EMF als **möglicherweise kanzerogen für Menschen** ein (48). Die wissenschaftliche Studienlage zu den gesundheitlichen Auswirkungen von EMF im Zwischenfrequenzbereich ist noch lückenhafter. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass elektronische Implantate (z.B. Herzschrittmacher) in Ihrer Funktion gestört werden können (49).

Vor dem Hintergrund des geplanten Ausbaus der Elektromobilität und der damit verbundenen steigenden Exposition der Bevölkerung durch EMF, ist es für ein umfassendes Risikomanagement unbedingt notwendig, die bestehenden Forschungslücken zu schließen. Grundsätzlich sollte bei bestehenden Unsicherheiten über die Risikobewertung die Exposition durch geeignete Maßnahmen und Regularien gemäß dem Vorsorgeprinzip möglichst gering gehalten werden (50).

Die deutsche Strahlenschutzkommission empfiehlt in Anbetracht der zu erwartenden, steigenden Exposition durch EMF

- a) eine **verbindlichen Strahlenschutzregelung** sowie technische Normen zu Feldimmissionen im Fahrzeug zu entwickeln – bis diese formuliert sind, kann auf das Konzept der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) zurückgegriffen werden,
- b) den Strahlenschutz bereits beim Entwurf der Technik zu berücksichtigen,
- c) die Forschung hinsichtlich der Kumulationswirkung von verschiedenen Immissionen und Expositionen, insbesondere auch von den zu erwartenden, hohen Immissionen der Ladetechnologien auszuweiten (51).

2.7 Offene Fragen zum Datenschutz

Mit der Nutzung von E-Autos kommen Technologien wie beispielweise das elektronische Lademanagement zum Einsatz, die aufgrund der verarbeiteten Daten Fragen zum Datenschutz aufwerfen. Neben Assistenzsystemen, die auch in Verbrennern verwendet werden und Daten aus Klimanage, Tacho, Beleuchtung etc. auslesen, werden bei E-Autos zusätzlich Fahrzeit, Fahrtstrecke und Ladezeiten aufgezeichnet. Das Batteriemanagementsystem

speichert oder leitet sensible Daten über den Zustand der Batterie direkt an den Hersteller weiter (37). Daraus lassen sich direkt Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten ziehen, was aus Datenschutzsicht als sehr problematisch einzuschätzen ist. Bei vielen Modellen werden außerdem der Innenraum sowie die Fahrzeugumgebung aufgezeichnet. Hier hat es in den vergangenen Jahren bereits mehrere Urteile gegeben, die das Recht auf informelle Selbstbestimmung und einen Verstoß gegen die DSGVO durch den Dauer-Betrieb der Fahrzeugkameras bestätigt. Da es momentan Unklarheiten bei der Zuständigkeit der Datenschutzregulierung gibt, empfiehlt der TÜV Süd unter anderem eine einheitliche Regelung auf europäischer Ebene. (52) Diese Diskussion findet in der öffentlichen Debatte bisher kaum statt.

3 Schlussfolgerungen & Handlungsempfehlungen

Stromproduktion als Schlüssel für Umsetzbarkeit von E-Mobilität

Der Gesamtstrombedarf und die notwendige Kapazität von erneuerbaren Energien ist vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus Atom- und Kohlekraft bisher nicht realistisch eingeschätzt worden. Da die Menge an Ökostrom, die in den nächsten Jahren für E-Mobilität (inklusive Herstellung der Batterie und des Antriebs) zur Verfügung steht, entscheidend für den angenommenen Klimavorteil ist, ist eine Neubewertung der E-Mobilität im Gesamtkontext der Energiewende zwingend erforderlich. Dabei müssen auch ökologische Konsequenzen der Energiewende, wie eine zunehmende Rodung von Waldflächen für Wind- und Solarparks kritisch bewertet werden. Darauf aufbauend ist eine Anpassung der festgeschriebenen Ziele im Klimaschutzgesetz und Erneuerbare-Energien-Gesetz an realistische Szenarien notwendig.

Mögliche (gesundheitliche) Auswirkungen auf Mensch & Umwelt

Der beschleunigte Ausbau der Elektromobilität bringt durch Laden und Fahren eine steigende Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder mit sich. Eine umfassende Risikoabschätzung über evidenzbasierte, wissenschaftliche Studien ist unbedingt notwendig. Dabei geht es vor allem um die Wirkungen von hoch-, zwischen- und niederfrequenten elektromagnetischen Feldern sowie der Wechselwirkungen der Felder von Batterie und Apparaturen im Auto untereinander. Darauf aufbauend muss eine verbindliche Strahlenschutzregelung erstellt werden, die maximale Expositionswerte von elektromagnetischen Feldern festlegt.

Durch den kontinuierlichen Ladeverlust der Batterie wird konstant Wärme an die Umgebung abgegeben. Da E-Autos als Hoffnungsträger im „Kampf“ gegen die Klimaerwärmung gelten, sollte hier der Einfluss der abgegebenen Wärme auf die Umwelt unter Berücksichtigung eines großflächigen Ausbaus von E-Mobilität untersucht werden. Auch die Möglichkeit und Auswirkung des Austritts von elektrochemischen Dämpfen in Zusammenhang mit dem Ladeverlust und elektromagnetischen Feldern sollten in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

Regelung offener Fragen zum Datenschutz

In E-Autos wird eine Vielzahl an intensiv datennutzenden Technologien verbaut. Die Speicherung und Übermittlung von Daten zu Fahrt und Ladung an die Hersteller, insbesondere das Batteriemanagementsystem und die Aufzeichnung von Kameraaufnahmen vom Fahrzeuginnenraum und der Fahrzeugumgebung ist datenschutzrechtlich problematisch, aber bisher größtenteils unreguliert. Eine einheitliche Regelung auf europäischer Ebene im Sinne der DSGVO ist daher zwingend erforderlich. Um eine informierte Kaufentscheidung treffen zu können, sollte die Zivilgesellschaft als zukünftige E-Auto-Nutzer Zugang zu diesen bisher kaum in der Öffentlichkeit diskutierten Informationen bekommen.

Transparenz von Forschungsdaten für Batterieproduktion und -sicherheit

Damit informierte, politische Entscheidungen hinsichtlich des Ausbaus von E-Mobilität getroffen werden können, braucht es eine breite Datenbasis und eine zunehmende Transparenz von Forschungsdaten zur Batterieproduktion und -sicherheit. Studien, die aktuell durch die Industrie finanziert und unter Verschluss gehalten werden, sollten der Politik sowie der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

4 Referenzen

1. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/bundes-klimaschutzgesetz>.
2. Wege für mehr Klimaschutz im Verkehr. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/07/NPM_AG1_Wege-fuer-mehr-Klimaschutz.pdf.
3. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten>.
4. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.fgsv.de/fileadmin/gremien/qa_7/Elektromobilitaet_FGSV_006_13.v.pdf.
5. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>.
6. Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-elektroautos/>.
7. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.energiestiftung.ch/energieeffizienz-elektromobilitaet.html>.
8. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/Neuen_Antrag_stellen/neuen_antrag_stellen.html.
9. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/elektroauto-kostenvergleich/>.
10. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/verkehr-1672896>.
11. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-pro-und-contra/>.
12. [Online] Zugriff im Nov 2021. http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/.

13. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/strommarkt-der-zukunft.html>.
14. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/07/20210713-erste-abschaetzungen-stromverbrauch-2030.html>.
15. [Online] Zugriff im Dez 2021. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/prognos-bruttostromverbrauch-2018-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
16. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere_Stellungnahmen/BEE/20210416_BEE-Szenario_2030_final.pdf.
17. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere_Stellungnahmen/BEE/202004_BEE-Szenario_2030_Aktualisierung.pdf.
18. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/aktuelles/ewi-analyse-ee-stromanteil-koennte-2030-bei-nur-55-prozent-liegen/> .
19. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/_4.html.
20. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/massiver-ausbau-der-erneuerbaren-erforderlich-flaechenrestriktionen-gefaehrden-zielerreichung/> .
21. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/wind/190219_nabu-hintergrundpapier_windenergie.pdf.
22. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.dw.com/de/stromautobahnen-ein-netz-mit-gro%C3%9Fen-l%C3%B6chern/a-57780868>.
23. [Online] <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf> .
24. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bundestag.de/resource/blob/710958/88d53d0482edb1731594729850ee49e7/WD-8-165-19-pdf-data.pdf>.
25. Agora Verkehrswende (2021): Batteriestandort auf Klimakurs. Perspektiven einer klimaneutralen Batterieproduktion für Elektromobilität in Deutschland. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/batteriestandort-auf-klimakurs>.
26. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/07/27/considering-an-electric-car-review-the-risks-and-learn-how-to-stay-safe/?sh=5711098c5578>.
27. M. Henriksen, K. Vaagsaether, J. Lundberg, S. Forseth, D. Bjerketvedt. Explosion characteristics for Li-ion battery electrolytes at elevated temperatures. *Journal of Hazardous Materials*. 2019, Bd. 371.
28. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/umfrage-elektromobilitaet/>.
29. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/882563/umfrage/strompreise-an-e-auto-ladesaeulen-nach-betreiber-in-deutschland/>.
30. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-laden-wallbox-faq/>.
31. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/strom-sparen/elektroauto-mit-eigener-ladestation-solarstrom-vom-dach-laden-22557>.

32. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/wallbox-lastmanagement/>.
33. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.solarwirtschaft.de/2021/08/03/photovoltaik-ausbau-22-prozent-ueber-vorjahr/>.
34. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/motor/selbstentladung-wenn-das-elektroauto-seinen-strom-verliert/25517934.html?ticket=ST-2990513-6oKWjNjoU6WZVZmcTNB5-ap6>.
35. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.electrive.net/2020/07/23/ladeverluste-laut-adac-oft-hoeheral-angegeben/>.
36. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://blog.chargemap.com/de/leistung-und-aufladezeit-wie-lassen-sich-unangenehme-uberraschungen-vermeiden/>.
37. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-batterie/>.
38. [Online] <https://www.oeko.de/forschung-beratung/themen/mobilitaet-und-verkehr/elektromobilitaet-e-autos-plug-in-hybride-und-batterien>.
39. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.emf-portal.org/de/emf-source/672>.
40. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/e-mobilitaet/e-mobilitaet.html>.
41. [Online] Dec 2021. <https://www.oecd.org/environment/non-exhaust-particulate-emissions-from-road-transport-4a4dc6ca-en.htm>.
42. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.sonderabfall-wissen.de/wissen/recycling-und-entsorgung-von-e-auto-batterien/>.
43. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.bbc.com/news/business-56574779>.
44. [Online] Zugriff im Nov 2021.
<https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf>.
45. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/technology/intermediate-frequency/electric-vehicles>.
46. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32014L0030>.
47. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.emf.ethz.ch/de/emf-info/themen/biologie/uebersicht-ueber-die-biologischen-wirkungen-von-emf>.
48. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Non-ionizing-Radiation-Part-2-Radiofrequency-Electromagnetic-Fields-2013>.
49. S. Driessen, A. Napp, K. Schmiedchen, T. Kraus, D. Stunder. Electromagnetic interference in cardiac electronic implants caused by novel electrical appliances emitting electromagnetic fields in the intermediate frequency range: a systematic review. *EP Europace*. 2019, Bd. 21.
50. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/more/risk-communication/risk-management>.
51. [Online] Zugriff im Nov 2021. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2019/2019-06-27EMFAuto.pdf?__blob=publicationFile.
52. [Online] Zugriff im Nov 2021. <https://datenschutz-fachportal.tuev-sued.de/artikel/elektroautos-datenschutz.html>.