

Fächer-Modul: Chemie/Physik/Geografie/Wipo

Unterrichtsentwurf

Name: CO₂-Bilanz von Elektrofahrzeugen

Niveaustufe: Erweitertes Niveau



Zeitdauer: 90 min - Doppelstunde

Benötigte Materialien: Präsentation + Arbeitsblatt

Voraussetzungen: Keine speziellen Kenntnisse nötig. Taschenrechner und Kenntnisse über erneuerbare Energiequellen hilfreich.

Kurzbeschreibung: Die aktuelle CO₂-Bilanz von Fahrzeugen mit elektrischem und verbrennungsmotorischem Antrieb ist oft Gegenstand von Diskussionen. Diese Diskussionen sind anspruchsvoll zu führen, da allein der Vergleich in Zahlen aufgrund der sich stetig verändernden Stromzusammensetzung und anderer Faktoren komplex ist. Zudem machen verschiedene Grundannahmen die Analysen schwer nachvollziehbar. Kennt man die wesentlichen Grundannahmen und Einflussfaktoren, lassen sich geeignete Analysen besser auswählen. So kann die Diskussion auf eine sachliche Grundlage gestellt werden. Es zeigt sich zunehmend, dass Elektrofahrzeuge bereits heute einen CO₂-Vorteil haben. Unabhängig davon ist nur mit E-Fahrzeugen eine ressourcenschonende Mobilität nahezu ohne Emissionen möglich.

Anmerkung: Wasserstoffbasierte Antriebe und synthetische Kraftstoffe werden nur kurz im Rahmen einer Vertiefung behandelt.

Kernkompetenzen¹:

Erkennen - Analyse des globalen Wandels Die Schüler*innen analysieren Globalisierungs- und Entwicklungsprozesse die durch den Klimawandel/ Klimakrise ausgelöst bzw. verändert werden mithilfe des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung.

Bewerten - Kritische Reflexion und Stellungnahme Die Schüler*innen reflektieren Globalisierungs- und Entwicklungsfragen in Bezug auf die Klimakrise, beziehen Stellung und orientieren sich dabei an der internationalen Konsensbildung, am Leitbild nachhaltiger Entwicklung und an den Menschenrechten.

Unterrichtsziele²:

- Die Schüler*innen wissen, welche menschlichen Aktivitäten - auf globaler, nationaler, lokaler und individueller Ebene - am meisten zum Klimawandel beitragen.
- Die Schüler*innen antizipieren und schätzen die Auswirkungen von persönlichen, lokalen und nationalen Entscheidungen oder Aktivitäten auf andere Menschen und Weltregionen ab und erschließen sich Änderungsmöglichkeiten.

Operationalisierbare Ziele:

¹ Kultusministerkonferenz: Orientierungsrahmen Globale Entwicklung, auf: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_06_00-Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung.pdf, S. 95

- Die Schüler*innen berechnen die Emissionsmenge eines Ladezyklus eines E-Autos für 2020.
- Die Schüler*innen nennen, welche Werte für einen Vergleich herangezogen werden müssten, damit nicht „Äpfel mit Birnen“ verglichen werden.
- Die Schüler*innen kennen die Methodik von Analysen zur CO₂-Bilanz von Fahrzeugen und können geeignete Analysen für konkrete Fragestellungen erkennen.
- Die Schüler*innen nehmen Perspektiven verschiedener Akteure auf dem Weg zu CO₂-freier Mobilität ein.
- Sie erkennen weiterhin die Bedeutung des schnellen Ausbaus der erneuerbaren Energiequellen für eine CO₂-freie Mobilität.

Unterrichtsverlaufsplan

Einstieg (5 Min.)

- Lehrkraft zeigt erstes Bild von Video, „Gewaltig Nachhaltig: Elektroauto oder Verbrenner – Wer hat die bessere Klimabilanz“, auf: <https://www.youtube.com/watch?v=fZFe6iaOJhQ> und erklärt, dass man sich das Video nun aber nicht anschauen werde, sondern die Schüler*innen die Lösung für Deutschland mit Hilfe von Studienergebnissen selbst herausfinden werden.

Erarbeitung (30 Min.)

- Die Schüler*innen lesen den Infotext und bearbeiten die Aufgaben.

Sicherung (10 Min.)

- Die Schüler*innen stellen ihre Lösungen vor.
- Lehrkraft zeigt ausführliches Video (Achtung: dauert 15 Min!).

Lösungsvorschläge zu den Aufgaben:

- 1. Die CO₂-Intensität des deutschen Strommix im Jahr 2020 betrug³ 336 g/kWh. Berechnen Sie die Emissionsmenge, die ein E-PKW mit der Akku-Kapazität von 40 kWh damals pro Ladezyklus verursachte.**

CO₂-Emissionen: 336g/kWh * 40 kWh = 13.440 g = 13,4 kg

- 2. Stellen Sie (allgemeine) Annahmen zusammen, die für eine aussagekräftige Analyse nötig sind. Entwerfen Sie (konkrete) Annahmen für eine fiktive Analyse, deren Aussagekraft Sie für unzureichend halten.**

Allgemein:

- Strommix und CO₂-Intensität, unterschieden nach Region und Jahren, ggf. nach Herstellern
- Prognose zu CO₂-Intensität des Strommixes über die Lebensdauer

³ Daten: Umweltbundesamt (2021)

- Lebensdauer und Kilometerleistung des Fahrzeugs
- Fahrzeugmasse und Energieverbrauch pro Kilometer
- Entsorgung und Recycling

Konkret:

- Z.B. könnte mit 100% Ökostrom bei der Ladung über die gesamte Lebensdauer gerechnet werden („Schönrechnung“) oder mit dem gleichen Strommix von 2020 („Schlechtrechnung“).
- Z.B: könnte ein Kleinwagen mit einem SUV verglichen werden.

3. Werten Sie die Abb. 2 aus. Schätzen Sie Ergebnisse ab, die sich bei den Baujahren 2016 und 2026 ergäben.

Die Abb. 2 zeigt, dass unter den gegebenen Annahmen (Lebensdauer bis 2038) ein E-Fahrzeug bereits heute nur noch 80g CO₂ pro km ausstößt, ein Verbrenner dagegen ca. 250g pro km. Das E-Fahrzeug emittiert also in dem Zeitraum insgesamt nur etwa 30% des CO₂ eines vergleichbaren Verbrenners. Diesel und Benzinauto unterscheiden sich dabei kaum. Würde das E-Fahrzeug dagegen bereits heute mit 100% Ökostrom betrieben (so einen Strommix gibt es in der EU noch nicht), sanken die Emissionen aus dem Betrieb noch einmal auf fast die Hälfte. Die Herstellung würde aber dennoch Emissionen verursachen, da nur der Strom für den Betrieb berücksichtigt wurde. Zudem sind in der Herstellung auch nicht-Strom-Emissionen z.B. aus der Stahlproduktion enthalten.

Bei Baujahr 2016 wäre der Emissions-Vorteil der E-Fahrzeuge geringer, da der Strommix vor 5 Jahren mehr fossile Anteile beinhaltete. Leider ist der Unterschied jedoch vmtl. nicht sehr groß, da der Anteil an erneuerbaren Energiequellen nur langsam stieg. Exakte Ergebnisse könnte man mit Hilfe der CO₂-Intensitäten der vergangenen Jahre berechnen.

Bei Baujahr 2026 wird der Betrieb (und ggf. auch die Herstellung) des E-Fahrzeugs weniger Emissionen verursachen.

Inwieweit die Kraftstoffproduktion bei Benzin und Diesel emissionsärmer wird, lässt sich auf Basis der Daten nicht sagen.

4. Diskutieren Sie vor dem Hintergrund des absehbar auf 100% steigenden Anteils CO₂-frei erzeugten Stroms, inwieweit jährlich aktualisierte Analysen zur CO₂-Bilanz überhaupt erforderlich sind.

Für die Analyse spricht:

- Viele Verbraucher möchten sich ein E-Fahrzeug erst anschaffen, wenn es eine bessere CO₂-Bilanz als ein Verbrenner aufweist.
- Politiker*innen erstellen CO₂-Reduktionspfade, legen Ausbauziele für erneuerbare Energiequellen und Abschaltpfade für fossile Wirtschaftszweige fest. Dafür müssen sie wissen, mit welcher Emissionsmenge beim aktuellen und prognostizierten Strommix zu rechnen ist.
- Wirtschaftsvertreter wollen wissen, wie viele Arbeitsplätze in welcher Branche in den kommenden Jahren vorhanden sein werden und wo es welche Gewinne zu erzielen gibt. Dabei helfen die Prognosen.

Gegen die Analysen spricht:

- Wenn das Ziel, der klimaneutrale Verkehr feststeht, ist allein die Geschwindigkeit wichtig, mit der das Ziel erreicht wird. Diese sollte unabhängig vom aktuellen Stand so hoch wie möglich sein, um möglichst viele Emissionen zu verhindern.
- Manche Akteure lassen sich durch die Analysen zu zögerlichem Verhalten verleiten und möchten im Extremfall erst auf E-Mobilität setzen, wenn diese 100% CO₂-frei ist. Durch unsauber geführte Analysen kann (z.T. auch gezielt) Verwirrung gestiftet werden. Das Ziel kann so aus dem Blick geraten.

Fazit: Würden Automobilwirtschaft, Verbraucher und Politik mit der technisch und wirtschaftlich maximal möglichen Geschwindigkeit die Energiewende vorantreiben, bräuchte man die Ergebnisse möglicherweise nicht. Da dies aber eine theoretische Überlegung ist und z.B. Planungssicherheit für alle Akteure eine wichtige Rolle spielt, können die Prognosen durchaus helfen, um zu höherer Geschwindigkeit zu motivieren. Es sollte aber darauf geachtet werden, dass der Blick auf die aktuelle CO₂-Bilanz den Blick auf das Ziel nicht verstellt, da dann das Gegenteil erreicht würde.

Material mit Quellenangaben

Präsentation (PPTX/PDF) mit Einstiegsbildern und Abbildungen

Arbeitsblatt (DOCX/PDF) „CO₂-Bilanz von E-Fahrzeugen“

CO₂-Bilanz von Elektrofahrzeugen

Die CO₂-Bilanz eines Elektrofahrzeugs setzt sich zusammen aus Emissionen der **Herstellung** und des **Betriebs** des Fahrzeugs (Laden des Akkus). Die Emissionen stammen dabei aus der Erzeugung des benötigten Stroms. Je CO₂-ärmer also der Strom wird, desto besser wird die Bilanz. In einem Energiesystem mit 100% Strom aus regenerativen Energiequellen sind Herstellung und Betrieb eines E-Fahrzeugs folglich nahezu CO₂-frei. Aktuell beinhaltet der **Strommix** aber erst einen Teil regenerativ erzeugten Stroms, die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle/Gas) hat ebenfalls noch einen Anteil.¹ Die **CO₂-Intensität** des Strommix kann aus diesen Anteilen berechnet werden. Die gesamt anfallenden Emissionen errechnet man aus der benötigten Strommenge, multipliziert mit der CO₂-Intensität des verwendeten Strommix. Eine zunehmende Zahl von Analysen kommt zu dem Ergebnis, dass E-PKW bereits heute eine deutlich bessere Bilanz als Verbrenner-PKW aufweisen und dass sich die Bilanz der E-Fahrzeuge von Jahr zu Jahr weiter verbessert.²

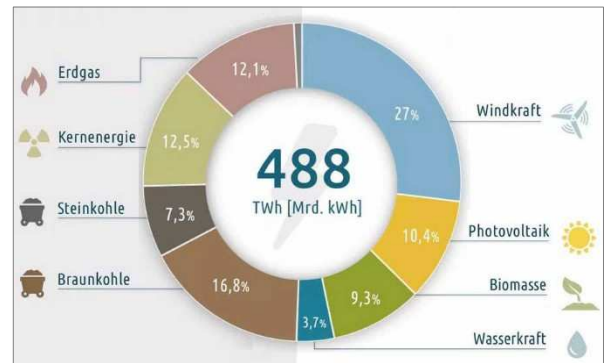


Abb. 1 Strommix Deutschland 2020¹

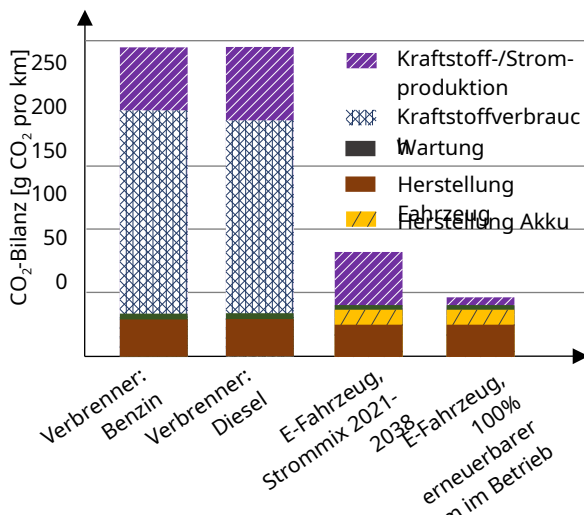


Abb. 2 Vergleich von PKW (Kompaktklasse, Baujahr 2021, Europ. Union) verschiedener Antriebstypen über deren Lebensdauer².

Bei der Akku-Herstellung wird bereits für die Förderung und Aufbereitung der Rohstoffe viel Strom gebraucht und auch andere Fertigungsschritte sind stromintensiv. Da sich der **Strommix je nach Land** unterscheidet, muss festgelegt werden, welcher Strommix für die Rechnung zugrunde gelegt wurde. Zudem erfolgen verschiedene Fertigungsschritte in unterschiedlichen Ländern und Betrieben. Beim Fahrzeug-Betrieb ist zusätzlich zu beachten, dass sich selbst innerhalb eines Landes die CO₂-Intensität des **Strommix im Laufe der Zeit** ändert und der Anteil der erneuerbaren Energiequellen fast überall

zunimmt. Ein Fahrzeug fährt in jedem Jahr also mit unterschiedlich CO₂-intensivem Strom. Aussagen über dessen zukünftige CO₂-Intensität sind auf der Grundlage der **Prognosen** von Markforschern möglich, beinhalten aber immer einen spekulativen Anteil. Aussagen zu Emissionen beim Betrieb hängen darüber hinaus von Annahmen ab, die man zur **Lebensdauer** der Fahrzeuge, der **gefahrenen Kilometerzahl** und ggf. zur **Entsorgung** bzw. zum **Recycling** macht. Auch sollte der Fahrzeugtyp mit seinem **spezifischen Energieverbrauch** beschrieben werden, um sinnvolle Vergleiche zu ermöglichen.

¹ Daten: Fraunhofer ISE 2021, Grafik: <https://strom-report.de/strom> (CC BY SA 4.0)

² Daten/Grafik (verändert): ICCT, Klimabilanz von elektrischen und verbrennungsmotorischen Pkw, 2021

Aufgaben:

- 1.** Die CO₂-Intensität des deutschen Strommix im Jahr 2020 betrug³ 336 g/kWh. Berechnen Sie die Emissionsmenge, die ein E-PKW mit der Akku-Kapazität von 40 kWh damals pro Ladezyklus verursachte.
- 2.** Stellen Sie (allgemeine) Annahmen zusammen, die für eine aussagekräftige Analyse nötig sind. Entwerfen Sie (konkrete) Annahmen für eine fiktive Analyse, deren Aussagekraft Sie für unzureichend halten.
- 3.** Werten Sie die Abb. 2 aus. Schätzen Sie Ergebnisse ab, die sich bei den Baujahren 2016 und 2026 ergäben.
- 4.** Diskutieren Sie vor dem Hintergrund des absehbar auf 100% steigenden Anteils CO₂-frei erzeugten Stroms, inwieweit jährlich aktualisierte Analysen zur CO₂-Bilanz überhaupt erforderlich sind.

³ Daten: Umweltbundesamt (2021)