

Themeneinheit

Wandel vernetzt denken – aktuelle Themen

Modul 1

Sind Elektroautos umweltfreundlich?

Version 1.4.0

Autoren: Andreas Becker (Wirtschaftsingenieur) und Philip Obergfell (Lehrer an beruflichen Schulen)

Inhaltliche Mitarbeit: Bernward Janzing (Fachjournalist für Energie)

Didaktische Mitarbeit: Philipp Krumpt (Gymnasiallehrer)

Grafiken: Sabine Sommer

Gestaltung: Pro Natur GmbH / N-Komm Agentur für Nachhaltigkeits-Kommunikation UG

Satz: Autoren in Apache OpenOffice™ (Writer)

Erstveröffentlichung: 2018

Copyright

Sämtliche Verwertungs- und Nutzungsrechte an diesem Material liegen bei der Stiftung Vernetzt denken. Es ist gestattet, das Material für eigene private und für schulische Zwecke, für die nicht-kommerzielle Jugend- und Erwachsenenbildung sowie die Hochschulausbildung zu nutzen. Hierbei ist es jedoch untersagt, das Material in eigene Veröffentlichungen jeglicher Art zu integrieren. Für solche, andere weitergehende sowie gewerbliche Nutzung müssen Lizenzvereinbarungen mit dem Rechteinhaber getroffen werden.

Stiftung Vernetzt denken, Weltpoststrasse 5, CH-3015 Bern
info@stiftungvernetztdenken.ch

www.wandelvernetztdenken.ch

www.stiftungvernetztdenken.ch

Die Themeneinheit im Überblick

Die Welt befindet sich im Wandel, und teils im Umbruch. So steht die Gesellschaft vor vielfältigen Fragestellungen und Herausforderungen. Die Themeneinheit *Vernetzt denken und handeln – komplexe Probleme meistern* vermittelt den grundsätzlichen Umgang mit Komplexität im Wandel.

In der vorliegenden Themeneinheit *Wandel vernetzt denken – aktuelle Themen* geht es hingegen darum, vernetztes Denken anhand aktueller Beispiele anzuwenden und zu üben. In allen zugehörigen Modulen wird Wert auf einen gesamtheitlichen Blick gelegt. Die Schülerinnen und Schüler erhalten jeweils als Ausgangsbasis fachliche Informationen sowie leitende Fragen, anhand derer sie selbst recherchieren, Situationen durchdenken und teils auch Handlungsansätze entwickeln.

Auf diese Weise können sich die Schülerinnen und Schüler zu aktuellen Themen gesamtheitlich eine Meinung bilden und verkürzte Ansätze erkennen, welche in Politik und Öffentlichkeit diskutiert werden. Zugleich kommen sie in die Lage, solche Ansätze fundiert zu hinterfragen und in einen umfassenden Kontext einzuordnen. So trainieren die Jugendlichen vernetztes Denken.

Diese Themeneinheit hat keinen abgeschlossenen Inhalt, wie das bei den anderen Themeneinheiten auf der Plattform *Wandel vernetzt denken* der Fall ist. Vielmehr werden im Laufe der Zeit Module zu ganz unterschiedlichen Themen zur Verfügung gestellt.

Das Modul im Überblick

Elektroautos gelten im Gegensatz zu herkömmlichen Pkws als umweltfreundlich. Autoindustrie, Stromversorgungsunternehmen und viele PolitikerInnen stellen heraus, dass rein elektrisch betriebene Fahrzeuge emissionsfrei oder emissionsarm fahren und zum Klimaschutz beitragen würden. Zudem sollen Elektroautos weitere Probleme des Individualverkehrs lösen.

Ob Elektroautos wirklich umweltfreundlich sind: Dieser Frage gehen die Schülerinnen und Schüler im Modul auf gesamtheitliche Weise nach – auch im Vergleich zu herkömmlichen Autos. Anhand von Fragen und Materialien recherchieren sie und durchdenken Zusammenhänge. Auf diese Weise bilden sie sich nicht allein eine fundierte Meinung zum komplexen Thema der Elektromobilität – einer aktuellen Thematik, zu der gesellschaftliche Entscheidungen bevorstehen, die langfristig wirkende Strukturen schaffen werden. Vielmehr üben die Schülerinnen und Schüler an diesem Beispiel vernetztes Denken ganz grundsätzlich.

Zielgruppe	Schülerinnen und Schüler ab 15 Jahren insbesondere der Schularten Gymnasien, FMS, WMS, Bezirks- und Sekundarschulen (Schweiz), Gymnasium, Gesamtschule und Realschule (Deutschland) sowie Allgemeinbildende höhere Schule und Berufsbildende höhere Schule (Österreich).
Zeitbedarf	5 bis 6 x 45 Minuten, je nach gewählter Variante.
Zahl der Teilnehmenden	Keine besonderen Empfehlungen.

Die Teilnehmenden erarbeiten im Modul Antworten zu den folgenden Fragen:

- Sind Elektroautos umweltfreundlich?
(Leitfrage)
- Welche Vor- und Nachteile besitzen Elektroautos?
- Wie führt man eine Betrachtung zu den Umweltfolgen eines Produktes durch?
- Welche speziellen Rohstoffe werden für die Herstellung von Elektroautos benötigt?
- Welche Umweltwirkungen hat der Abbau der Rohstoffe, die für Elektroautos benötigt werden?
- Welche sozialen Folgen hat der Abbau dieser Rohstoffe?
- Welche Umweltwirkungen hat die Produktion von Elektroautos – auch im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren?
- Wie könnte ein wünschenswerter Strommix für die Zukunft aussehen?
- Ist die Herstellung von Autos mit Verbrennungsmotoren umweltfreundlich?
- Lässt sich der Strom eines Verbrauchers einer Stromerzeugungsart (z.B. Solarenergie, Windenergie) zuordnen?
- Erhält man als KundIn eines Ökostromlieferanten ausschließlich Ökostrom?
- Ökostrom wird vor allem aus Wasserkraft, der Sonne und dem Wind erzeugt. Was passiert, wenn bei bedecktem Himmel, nachts oder bei Windstille Strom verbraucht wird?
- Auf welche Art wird zusätzlich nachgefragter Strom erzeugt?

- Nutzen ElektroautonutzerInnen, die Ökostrom zum Aufladen ihres Wagens bestellen, in der Regel umweltfreundliche Energie?
- Warum macht es einen großen Unterschied, in welchem Land ein Elektroauto betrieben wird?
- Ist es sachlich korrekt, den Strommix als Basis für die Umweltauswirkung der Elektroautonutzung zu nehmen?
- Warum wird Strom aus Kohle- und Kernkraftwerken zu Ökostrom umetikettiert?
- Welche Auswirkungen hat die Tatsache, dass Elektroautos nur in beschränktem Maße herkömmliche Autos ersetzen können, auf die Gesamtzahl der Autos eines Landes und in Folge auf die Umwelt?
- Welche Umweltwirkungen hat die Entsorgung von Elektroautos?
- Inwieweit sollten die Umweltbelastungen der Batterieentsorgung dem Elektroauto zugerechnet werden, wenn die Batterie nach der Nutzung im Auto als Stromspeicher weiter genutzt wird?
- Was bedeutet der Begriff „umweltfreundlich“?
- Wie lautet die Gesamterkenntnis zur Umweltfreundlichkeit von Elektroautos – auch im Vergleich zu herkömmlichen Autos?
- Können Elektroautos eine Alternative zu herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotor sein, auch wenn sie nicht von vorneherein als umweltfreundlich gelten können?
- Warum wird das Elektroauto politisch und inzwischen auch von der Automobilindustrie so stark forciert?
- Ist es realistisch, dass Elektroautos zukünftig ausschließlich mit Energie produziert und betrieben werden können, die aus regenerativen Quellen stammt?
- Ist Strom aus regenerativen Quellen immer umweltfreundlich und positiv?
- Wie könnte ein zukunftsfähiges Verkehrssystem aussehen?
- Welche Konsequenzen kann man als Einzelperson oder Familie aus der Tatsache ziehen, dass es keine umweltfreundliche automobilen Mobilität gibt?
- Was geht in Ihnen vor, wenn Sie bedenken, dass ein Produkt als umweltfreundlich bezeichnet wird, obwohl es das nicht ist?
- Wie können wir mit falschen und widersprüchlichen Aussagen umgehen?

Vorausgesetztes Modul

-

Module, an die das vorliegende inhaltlich anknüpft

-

Inhaltsverzeichnis

Informationen zum Modul.....	7
Inhalt.....	7
Didaktik.....	13
Stundenablauf.....	14
Ziele und angestrebte Kompetenzen.....	18
Materialübersicht.....	20
Weiterführende Themenvorschläge.....	21
Hinweise zum Materialien-Teil.....	23
Materialien.....	24
L1: Ins Thema einführen / Meinung abfragen.....	25
M1: Grundsätzliches zum Elektroauto und seinen Umweltwirkungen.....	27
Mögliche Lösungen zu M1: Vor- und Nachteile von Elektroautos.....	28
M2: Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung.....	30
Lösungen zu M2: Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung.....	31
M3: Umweltwirkungen der Produktherstellung.....	32
Lösungen zu M3: Umweltwirkungen der Produktherstellung.....	34
M4: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1.....	35
Lösungen zu M4: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1.....	37
M5: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2.....	39
Lösungen zu M5: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2.....	41
M6: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3.....	44
Lösungen zu M6: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3.....	46
M7: Umweltwirkungen der Elektroautoentsorgung und Gesamtbetrachtung.....	47
L2: Ergebnissicherung.....	48
L3: Abschließende Diskussion.....	49

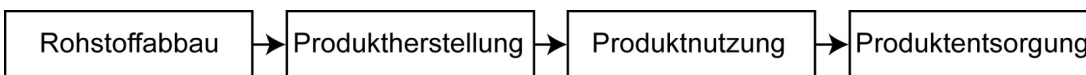
Informationen zum Modul

Inhalt

Das Thema

Autos mit Verbrennungsmotor sind als umweltschädlich anerkannt, während Elektroautos als umweltfreundlich gelten. Autoindustrie und so manche Politiker und Politikerinnen stellen heraus, dass rein elektrisch betriebene Fahrzeuge emissionsfrei oder zumindest emissionsarm fahren und zum Klimaschutz beitragen würden.

Um die Umweltfreundlichkeit beurteilen zu können, reicht es nicht aus, allein die Nutzung des Autos zu betrachten. Es sind alle Lebensphasen des Produktes zu betrachten. Während die Schülerinnen und Schüler dies bei der Bearbeitung des Moduls tun, seien an dieser Stellen lediglich einige zentrale Aspekte angesehen.



Die Herstellung von Elektroautos ist wegen der zu produzierenden Batterie erheblich energieaufwendiger als jene von herkömmlichen Autos. Bei der heutigen Stromerzeugung führt das zu einem deutlich größeren CO₂-Ausstoß, was zum Klimawandel beiträgt.

Wie umweltschädlich Elektroautos im Betrieb sind, hängt vor allem von der Art des genutzten Stroms ab. Doch selbst wer Ökostrom einkauft, um das Elektroauto aufzuladen, sorgt häufig dafür, dass Kohlekraftwerke mehr Strom erzeugen. Der renommierte Energieforscher und -berater Dieter Seifried schrieb dazu 2017:

„Will man wissen, wie viel Emissionen ein zusätzlicher Stromverbrauch verursacht, darf man nicht mit einem Durchschnittswert für die Kraftwerksemissionen rechnen, sondern muss fragen, welche Kraftwerke für den zusätzlichen Strombedarf eingesetzt werden. Die Antwort darauf ist eindeutig: Bei dem derzeitigen Ausbautempo der erneuerbaren Energien wird Strom für Elektrofahrzeuge in den nächsten 15 Jahren nicht aus umweltfreundlichen Energiequellen kommen, sondern aus einer Mischung von Braunkohle, Steinkohle und Erdgas. [...] Anstatt eines scheinbaren Vorteils für Elektrofahrzeuge errechnen sich nun Mehremissionen!“

In Deutschland soll bis spätestens zum Jahr 2038 aus der Kohlekraft ausgestiegen und bis dahin alle Kohlekraftwerke stillgelegt sein. Nach und nach würde demnach die Nutzung von Kohlestrom für Elektroautos abnehmen. Konzepte, wie die wegfallende Stromerzeugung durch andere Kraftwerksarten und insbesondere regenerative Erzeugung ausgeglichen werden kann, gibt es. Dabei ist zu beachten, dass Prognosen zufolge der Stromverbrauch zunehmen wird beispielsweise durch die zunehmende Zahl an Elektroautos und der Forcierung der Wärmepumpe für Gebäudeheizungen.

Ob sich diese Konzepte umsetzen lassen, bleibt zu zeigen. So heißt es in der Studie *Klimaneutrales Stromsystem 2035* von Agora Energiewende, der Prognos AG und der Consentec GmbH aus dem Jahr 2022:

Elektroautos

Der Begriff Elektroauto ist weit gefasst. Wir beschäftigen uns hier ausschließlich mit rein batteriebetriebenen Elektroautos. Nicht zum Thema gehören beispielsweise Hybridfahrzeuge – sie besitzen sowohl einen Verbrennungs- als auch einen Elektromotor – und Autos mit Brennstoffzellen und Elektromotor („Wasserstoffautos“).

„Die Zielerreichung erfordert [...] einen Paradigmenwechsel in Kernbereichen des Stromsystems. Insbesondere müssen Planungs- und Genehmigungsverfahren für Erneuerbare Energien, Strom- und Wasserstoffnetze konsequent vereinfacht und beschleunigt werden. Darüber hinaus ist für die Koordinierung des Infrastrukturausbaus ein integrierter Systementwicklungsplan für Strom, Gas und Wasserstoffnetze dringend erforderlich. Dafür notwendige Maßnahmen müssen unverzüglich ergriffen werden.“

Und der Energiewendeindex von McKinsey stellte im März 2023 fest:

*„Die historisch stabile Stromversorgung in Deutschland gerät unter Spannung: Die verfügbare Leistung zu **Spitzenlastzeiten** sinkt durch den Plan, aus Kernkraft und aus allen fossilen Energien auszusteigen. [...]. Und dies bei insgesamt steigender Spitzenlast [...]. Damit droht eine Stromlücke von bis zu 30 GW im Jahr 2030 – dies entspricht umgerechnet etwas 30 thermischen Großkraftwerken. Hebel auf der Angebotsseite wie der massive Ausbau von Erneuerbaren reichen allein nicht aus, falls nicht zusätzlich noch neue Großkraftwerke gebaut werden und der temporäre Weiterbetrieb von Kohlekraftwerken erwogen werden.“*

Spitzenlastzeiten

Zeiten, zu denen der Strombedarf am höchsten ist.

(Definition ist nicht Teil des zitierten Textes.)

Selbst wenn sich die sehr ambitionierten Pläne zum Ausbau von Solar- und Windkraft umsetzen ließen, könnte Deutschland zukünftig auf den Import von Atom- und Kohlestrom aus Nachbarländern angewiesen sein, wenn die Kohlekraftwerke abgeschaltet werden. Dazu führen würden neben Lücken bei der eigenen Stromerzeugung die deutliche Zunahme des Strombedarfs aufgrund zunehmender E-Mobilität und der Nutzung von Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung.

Die Frage, ob Elektroautos umweltfreundlich sind, erfordert äußerst facettenreiche Betrachtungen. An dieser Stelle wurden lediglich einige Aspekte zur Illustration herausgegriffen. Den folgenden Materialien für die Schülerinnen und Schüler können Sie als Lehrkraft detaillierte Informationen entnehmen.

Auch wenn Elektroautos nicht von vorne herein als umweltfreundlich gelten können, sind sie dennoch eine Alternative zu herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotor. Schließlich steht außer Zweifel: Herkömmliche Autos schädigen die Umwelt deutlich, und Elektroautos besitzen einige ökologische Vorteile. Außerdem besteht bei Elektroautos langfristig das Potential für eine sich verbessernde ökologische Bilanz, wenn die Stromversorgung weitgehend auf regenerative Energien umgestellt werden könnte. Auch könnten Fortschritte in der Batterietechnologie die Umweltbilanz von Elektroautos weiter verbessern.

Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die Umweltwirkungen von Elektroautos und herkömmlicher Automobile vergleichend gegenüberzustellen. Zwar gibt es einige Ansätze solcher Untersuchungen. Sie kommen jedoch zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Der Wissenschaftsjournalist Christopher Schrader schreibt dazu in *Spektrum der Wissenschaft*:

„Die interessante Frage ist daher, ob Elektroautos über ihren gesamten Lebenszyklus gerechnet einen ökologischen Vorteil gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bieten. Diese Frage ist gar nicht so einfach zu beantworten, weil sehr viele Faktoren eine Rolle spielen: der Stromverbrauch, die Herkunft der Elektrizität, das Klima am Einsatzort, die Herstellung der Zusatzkomponenten und vor allem der Batterie, die Lebensdauer und Fahrleistung des Autos, die politischen

Rahmenbedingungen. Wie so oft entscheiden grundlegende Annahmen über das Ergebnis der Ökobilanz-Studien.“

Zudem muss für die gesamte Lebensdauer des Elektroautos der Energiemix des genutzten Strom prognostiziert werden, was große Möglichkeiten bietet, die Ergebnisse einer Ökobilanz in die eine oder die andere Richtung zu beeinflussen.

Das Ergebnis einer Ökobilanz ist ohne große Aussage, wenn die Annahmen zu den verschiedenen Aspekten nicht mitbetrachtet werden.

Aufgrund all der genannten Schwierigkeiten verzichtet dieses Unterrichtsmodul sowohl darauf, für Elektroautos komplette Ökobilanzen zu betrachten, als auch in der Folge die Umweltwirkungen von Elektroautos und Autos mit Verbrennungsmotoren bilanziell zu vergleichen. Bei den weiterführenden Themenvorschlägen sind diese Aspekte jedoch aufgegriffen.

Weiterführende Literatur

Die Umweltfolgen und einige soziale Konsequenzen von Pkws – herkömmlichen wie auch Elektroautos – betrachtet eine Veröffentlichung von Brot für die Welt, Misereor und Power-shift e.V. aus dem Jahr 2021:

Weniger Autos, mehr globale Gerechtigkeit: Warum wir Mobilitäts- und Rohstoffwende zusammen denken müssen.

<https://power-shift.de/wp-content/uploads/2021/09/Weniger-Autos.pdf>

Einzelnachweise

Zitat Dieter Seifried zur Deckung zusätzlichen Energiebedarfs

Seifried, Dieter: *Umsteigen auf einen elektrischen Klimakiller?* In: Energiedepeche 4-2017, S. 14-15.

Zitat Agora Energiewende, Prognos AG und Consentec GmbH

Agora Energiewende, Prognos, Consentec: *Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann.* Version 1.2 von Februar 2023.

https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf, abgerufen am 23.3.2023, S. 8.

Zitat aus Energiewendeindex von McKinsey

McKinsey & Company: *Energiewendeindex von McKinsey: Versorgungssicherheit unter Spannung.*

Pressemitteilung vom 6. März 2023. https://www.mckinsey.com/de/~/_media/mckinsey/locations/europe/%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2023/2023-03-06%20ewi/23%2003%2006%20pm%20ewi_vf.pdf

, abgerufen am 27.7.2023, S. 1.

Zitat Christopher Schrader zu Ökobilanzen

Schrader, Christopher: *Ein kritischer Blick.* spektrum.de vom 4.11.2017, abgerufen am 20.4.2018.

www.spektrum.de/news/wie-ist-die-umweltbilanz-von-elektroautos/1514423

Definitionen

■ Elektroauto

Personenkraftwagen, der von einem Elektromotor angetrieben wird und den dazu notwendigen Strom in einer Batterie speichert. Dieses Unterrichtsmodul konzentriert sich auf rein batteriebetriebene Elektroautos. Nicht zum Thema gehören beispielsweise Hybridfahrzeuge – sie besitzen sowohl einen Verbrennungsmotor als auch einen Elektromotor – und Autos mit Brennstoffzellen und Elektromotor („Wasserstoffautos“).

■ Ökobilanzen

Mit solchen Bilanzen werden alle Umweltwirkungen eines Produktes über den gesamten Lebensweg eines Produktes vom Rohstoffabbau bis hin zur Produkterhaltung ermittelt. Detailliert werden die Umweltwirkungen berechnet und in Zahlen ausgedrückt (z.B. wie viele Kilogramm CO₂ freigesetzt werden).

■ Ökostrom

Strom, der aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird (z.B. durch Solar-, Wind- und Wasserkraftwerke). Manche Stromversorger zählen auch Strom dazu, der in Kraft-Wärme-Kraftwerken erzeugt wird; dabei wird meist Erdgas verbrannt.

■ Strommix

Der Strommix eines Energieversorgers oder eines Landes gibt in Prozent an, aus welchen Energieträgern der Strom erzeugt wurde. Energieträger sind beispielsweise Erdgas, Mineralöl, Kohle, Uran (Kernkraft) und im weiteren Sinne Wasserkraft, Solarenergie und Windenergie.

Literatur

Bei der Erstellung dieses Moduls haben sich die Autoren auf vielfältige Literatur gestützt. Die wichtigsten Studien und Artikel sind im Folgenden aufgelistet.

- Agora Energiewende, Prognos, Consentec: *Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann.* Version 1.2 von Februar 2023.
https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf, abgerufen am 23.3.2023.
- Agora Verkehrswende: *Klimabilanz von Elektroautos: Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial.* Berlin 2019.
https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf, abgerufen am 31.7.2023.

- Amnesty International: *This is what we die for: Human rights abuses in the democratic republic of the congo power the global trade in cobalt*. New York, 2016. <https://www.amnesty.org/download/Documents/AFR6231832016ENGLISH.PDF>
- Joachim Becker, Haiko Prengel: *Feinstaubalarm auch bei Elektroautos*. Süddeutsche Zeitung, 21.5.2021. <https://www.sueddeutsche.de/auto/mikroplastik-feinstaub-reifenabrieb-elektroautos-1.5296008> (abgerufen am 29.5.2021).
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: *Analyse des artisanalen Kupfer-Kobalt-Sektors in den Provinzen Haut Katanga und Lualaba in der Demokratischen Republik Kongo*. Hannover, 2019. www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_BGR_kupfer_kobalt_kongo_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: *Effizienz und Kosten: Lohnt sich der Betrieb eines Elektroautos?*. Stand: 1.10.2021. <https://www.bmuv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten>, abgerufen am 31.7.2023.
- Deutsche Umwelthilfe: *Wie umweltverträglich sind Elektroautos?* DUH Infopapier, 31.1.2023. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Batterien/230201_Umweltvertraeglichkeit_Elektroautos.pdf, abgerufen am 31.7.2023.
- Figenbaum, Erik; Kolbenstvedt, Marika: *Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners*. Institute of Transport Economics. Oslo 2016. www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43161
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik: *Angepasst mobil*. Forschung im Fokus. Juni 2016. www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse_und_Medien/Forschung_im_Fokus_Uebersicht/Archiv/Juni_2016_Angepasst_mobil.html
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Hrsg.): *Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf*. Karlsruhe, 2020. <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf>
- Gerding, Jonas: *Kobalt aus dem Kongo: Der Makel der E-Mobilität*. Deutsche Welle, 2.7.2019. www.dw.com/de/kobalt-aus-dem-kongo-der-makel-der-e-mobilit%C3%A4t/a-49366776
- Greenpeace e.V.: *Verkehrswende für Deutschland: Der Weg zu CO₂-freier Mobilität bis 2035 – Kurzfassung*. Zusammenfassung einer Studie des Wuppertal-Instituts. Berlin 2017. www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20170830-greenpeace-kursbuch-mobilitaet-kurzfassung.pdf.pdf
- Helms, Hinrich; Jöhrens, Julius; Kämper, Claudia; Giegrich, Jürgen; Liebich, Axel; Vogt, Regine; Lambrecht, Udo: *Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen*. Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes. August 2015.

www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3711_96_113_elektrofahrzeuge_umweltbilanz_bf.pdf

- Holtsmark, Bjart; Skonhoft, Anders: *The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries?* In: *environmentalscience & policy* 42 (2014), S. 160-168.
www.svt.ntnu.no/iso/Anders.Skonhoft/Environmental%20Science%20and%20Policy%20814.pdf
- Kämper, Claudia; Helm, Hinrichs; Biemann, Kirsten: *Wie klimafreundlich sind Elektroautos? Update Bilanz 2020*. Institut für Umwelt- und Energieforschung, Heidelberg, 2021, für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.
https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_klimabilanz_bf.pdf
- McKinsey & Company: *Energiewendeindex von McKinsey: Versorgungssicherheit unter Spannung*. Pressemitteilung vom 6. März 2023.
https://www.mckinsey.com/de/~/_media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2023/2023-03-06%20ewi/23%2003%2006%20pm%20ewi_vf.pdf
- Reid, Gerard; Julve, Javier: *Second Life-Batterien als flexible Speicher für Erneuerbare Energien*. Kurzstudie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e.V. und der Hannover Messe. Berlin 2016. www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604_Second_Life-Batterien_als_flexible_Speicher.pdf
- Romare, Mia; Dahllöf, Lisbeth (IVL Swedish Environmental Research Institute): *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles*. Stockholm, 2017.
www.ivl.se/english/startpage/pages/publications/publication.html?id=5407
- Schrader, Christopher: *Ein kritischer Blick*. spektrum.de vom 4.11.2017, abgerufen am 20.4.2018. www.spektrum.de/news/wie-ist-die-umweltbilanz-von-elektroautos/1514423
- Seifried, Dieter: *Umsteigen auf einen elektrischen Klimakiller?* In: *Energiedepesche* 4-2017, S. 14-15.
- Staude, Linda: *Der hohe Preis für Elektroautos und Smartphones – Kobaltabbau im Kongo*. Deutschlandfunk, 25.7.2019.
www.deutschlandfunk.de/kobaltabbau-im-kongo-der-hohe-preis-fuer-elektroautos-und.724.de.html?dram:article_id=454818
- Teufel, Dieter; Arnold, Sabine; Bauer, Petra; Schwarz, Thomas: *Ökologische Folgen von Elektroautos: Ist die staatliche Förderung von Elektro- und Hybridautos sinnvoll?* UPI-Bericht Nr. 79. 3. aktualisierte Auflage. Heidelberg 2019: Umwelt- und Prognoseinstitut e.V. www.upi-institut.de/UPI79_Elektroautos.pdf
- Verband der Automobilindustrie: *CO₂-Regulierung bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen*. www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/co2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nfz/co2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nutzfahrzeugen.html, abgerufen am 22.1.2018.

- VERORDNUNG (EG) Nr. 443/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0001:0015:DE:PDF>, abgerufen am 22.1.2018.
- Martin Wietschel et al.: *Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für Pkw und Lkw – Endbericht*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, September 2019, S. 21. <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2019/klimabilanz-kosten-potenziale-antriebe-pkw-lkw.pdf>, abgerufen am 31.7.2023.

Didaktik

Anknüpfung an Bildungsplänen

Nachhaltigkeit und nachhaltiges Handeln ist mittlerweile in vielen Bildungsplänen verankert. In den Bildungsplänen wird überdies die Bedeutung einer **ganzheitlichen Bildung** betont – die Schülerinnen und Schüler sollen auf ihr selbstbestimmtes Leben in einer demokratischen Gesellschaft vorbereitet werden. Dieses Modul greift die Nachhaltigkeit an einem konkreten Beispiel auf und ermöglicht den Schülerinnen und Schülern, vernetzt denken zu üben.

Insgesamt folgt das Modul den übergeordneten Zielen des Projekts *Wandel vernetzt denken*, vernetztes Denken zu fördern, die Jugendlichen in ihrer Ausbildung zu einer selbstbestimmten Persönlichkeit zu unterstützen sowie sie in verschiedenen Situationen zu aktivem Handeln zu befähigen. Es ergibt sich ein **gesamtheitlicher und fächerübergreifender Ansatz**. Er fördert übergeordnete Kompetenzen wie Denken in Zusammenhängen, konstruktiv-kritisches Hinterfragen von Aussagen und Maßnahmen sowie die Fähigkeit, sich eine eigene Meinung zu bilden.

Einsetzen lässt sich das Modul beispielsweise in den Fächern **Gemeinschaftskunde, Politik, Wirtschaft, Erdkunde und berufsbezogenen Fächern beispielsweise in der Kfz-Ausbildung**. Diese Fächer fordern in ihren Formulierungen explizit die Schulung und Stärkung der Handlungskompetenz. Aufgrund des gesamtheitlichen und fächerübergreifenden Ansatzes kann das Modul jedoch auch unabhängig von Bildungsplänen mit ihrer Einteilung nach Schulfächern eingesetzt werden. Auch ist der Einsatz unter anderen Rahmenbedingungen als in der Schule (Projektwoche o. a.) flexibel möglich.

Mögliche Anknüpfungspunkte sind zum Beispiel Themen wie Verkehr, Verkehrssysteme, Umweltverschmutzung, Umwelt und Nachhaltigkeit sowie Antriebstechniken.

Die Ziele des Moduls entsprechen auch den Forderungen vieler europäischer Länder: So verlangen die **Bildungspläne in Deutschland, Österreich und der Schweiz** nach immer weiter reichenden Kompetenzen in puncto Handlung. Hinzu

kommen die geforderten Fähigkeiten, Situationen analysieren und reflektieren zu können. Es handelt sich daher um grundlegende Kompetenzen, deren Erwerb in allen Fächern und allen Klassenstufen Teil der Bildungspläne und der Bildungsstandards geworden ist.

In den Bildungsplänen wird überdies die Bedeutung einer **ganzheitlichen Bildung** betont. Dazu trägt die gesamte Themeneinheit *Vernetzt denken und handeln – komplexe Probleme meistern* und auch dieses Modul bei.

Bedeutung des Themas für die Teilnehmenden

Ein persönlicher Bezug der Schülerinnen und Schüler liegt vor, falls die Lebensqualität aufgrund von Straßenlärm, Autoabgasen oder Stau beeinträchtigt ist. Das gleiche gilt für den Fall, dass der Kauf eines Autos näher rücken sollte – innerhalb der Familie oder für sich selbst.

Gesellschaftlicher Bezug: Politik, Staat und Wirtschaft forcieren im Moment den Umbau des Straßenverkehrssystems hin zu Elektromobilität. Dieser grundsätzliche Strukturwandel wird die heute jungen Menschen viele Jahre ihres Lebens begleiten, falls er umgesetzt werden sollte.

Das Modul gibt den Teilnehmenden am Beispiel der Forcierung des Elektroautos einen Einblick in nicht vernetztes Denken und seine Folgen. Zugleich bietet es die Möglichkeit, das politische Bewusstsein zu schärfen und somit die Identitätsbildung zu unterstützen.

Stundenablauf

Materialaufbau und -bearbeitung

- Dieses Modul besteht aus sieben Arbeitsmaterialien (**M1** bis **M7**) sowie sechs Lösungsblättern (**L01** bis **L06**). Zusätzlich gibt es Erläuterungen für die Lehrkraft: für den Einstieg in die Modulbearbeitung (**L1**) sowie die abschließende Ergebnissicherung (**L2**) und Diskussion (**L3**).

- Für die Durchführung stehen zwei Stundenvorschläge zur Wahl:

- **Selbstorganisiertes Bearbeiten des Materials (Variante 1)**

Nach der einführenden Plenumsphase arbeiten die Teilnehmenden wahlweise in Einzelarbeit, PartnerInnenarbeit oder Gruppenarbeit die Materialien eines nach dem anderen selbstständig durch – dies kann von den Schülerinnen und Schülern selbstorganisiert erfolgen. Sind sie mit einem Arbeitsblatt fertig, holen sie sich bei der Lehrkraft das entsprechende Lösungsblatt. Haben sie dieses bearbeitet, holen sie sich das nächste Arbeitsblatt.

Für die Bearbeitung von **M1** und **M2** wird ein Internetzugang benötigt. Steht dieser im Unterricht nicht zur Verfügung, werden diese beiden Materialien im Voraus als Hausaufgabe aufgegeben.

Unterschiedliche Bearbeitungsstempel zwischen den einzelnen Gruppen lassen sich entweder dadurch ausgleichen, dass langsamere Gruppen die +Aufgaben auslassen, die in einigen der Materialien enthalten sind. Alternativ kann die Fertigbearbeitung angefangener Materialien auch als Hausaufgabe aufgegeben werden. Denkbar ist auch, von einer zur nächsten Stunde jeweils ein Material als Hausaufgabe auszugeben. Auf diese Weise kann Unterrichtszeit eingespart werden.

Abschließend erstellen die Teilnehmenden Plakate, auf denen sie ihre Ergebnisse übersichtlich darstellen. Diese werden im Klassenzimmer aufgehängt. Die Schülerinnen und Schüler vergleichen die Plakate, achten auf unterschiedliche Ergebnisse und diskutieren diese miteinander (Museumsmethode). Schließlich erfolgt im Plenum eine Abschlussdiskussion.

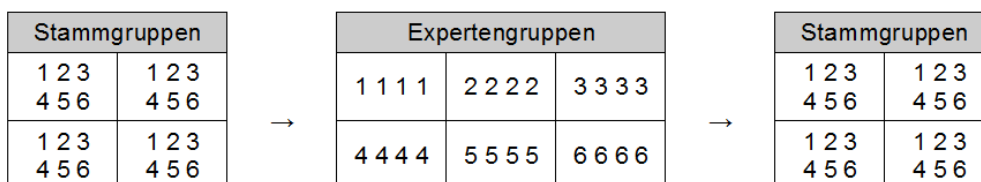
- **Bearbeitung als Gruppenpuzzle (Variante 2)**

Methodenkompetente Klassen können das Material auch als Gruppenpuzzle bearbeiten: Nach dem Einstieg finden sich Stammgruppen mit je sechs Personen zusammen. Jede Stammgruppe erhält je ein Exemplar des Materials **M1** bis **M6** ausgehändigt. Die Stammgruppen weisen jedes der Materialien einer Schülerin oder einem Schüler zu.

Anschließend treffen sich sechs ExpertInnengruppen; jede dieser Gruppen ist für ein Material zuständig (ExpertInnengruppe M1, ExpertInnengruppe M2, ...). Die ExpertInnengruppen setzen sich aus den Schülerinnen und Schülern zusammen, denen das jeweilige Material in den Stammgruppen zugewiesen wurde.

Die ExpertInnengruppen bearbeiten ihr Material soweit, dass sie den Teilnehmern ihrer jeweiligen Stammgruppe ihre Ergebnisse vorstellen können. (Die ExpertInnengruppen M1 und M2 benötigen Internetzugang).

Anschließend gehen die Teilnehmenden der ExpertInnengruppen wieder zurück in ihre Stammgruppen, tauschen die Informationen zu ihrem Material aus und erstellen jeweils gemeinsam ein Plakat mit einer Übersicht zu ihren Ergebnissen. Diese werden im Klassenzimmer aufgehängt. Die Schülerinnen und Schüler vergleichen die Plakate, achten auf unterschiedliche Ergebnisse und diskutieren diese miteinander (Museumsmethode). Schließlich erfolgt im Plenum eine Abschlussdiskussion.



Prinzip des Gruppenpuzzles am Beispiel einer Klassengröße von 24 Schülerinnen und Schüler: 4 Stammgruppe à 6 Personen. Die Zahlen entsprechen den Materialnummern M1 bis M6.

Möglicher Stundenablauf 1: Selbstorganisiertes Bearbeiten des Materials

Stun- de	Aufgabe	Inhalt	Zeitdauer	Methode, Sozial- form
1	Einstieg (L1)	Ins Thema einführen / Meinung abfragen	15 min	Plenum
	Bearbeitung M1	Grundsätzliches zum Elektroauto und seinen Umweltwirkungen (Internetrecherche)	25 min	Selbstorganisiertes Bearbeiten (Einzelar- beit, PartnerInnenar- beit, Gruppenarbeit)
	Bearbeitung Lö1	Lösungen zu M1: Vor- und Nachteile von Elektroautos	5 min	
2	Bearbeitung M2	Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung (Internetrecherche)	20 min	
	Bearbeitung Lö2	Lösungen zu M2: Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung	5 min	
	Bearbeitung M3	Umweltwirkungen der Produktherstellung	15 min	
	Bearbeitung Lö3	Lösungen zu M3: Umweltwirkungen der Produktherstellung	5 min	
3	Bearbeitung M4	Umweltwirkungen der Elektroautonut- zung Teil 1	20 min	
	Bearbeitung Lö4	Lösungen zu M4: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1	10 min	
	Bearbeitung M5	Umweltwirkungen der Elektroautonut- zung Teil 2	15 min	
Haus- aufga- be	Bearbeitung Lö5	Lösungen zu M5: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2		
4	Bearbeitung M6	Umweltwirkungen der Elektroautonut- zung Teil 3	15 min	
	Bearbeitung Lö6	Lösungen zu M6: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3	5 min	
	Bearbeitung M7	Umweltwirkungen der Elektroautoentsor- gung und Gesamtbetrachtung	25 min	
5 und evtl. 6	Ergebnissicherung (L2) und Abschluss (L3)	Ergebnissicherung / Abschließende Diskussion	45 bis 90 min	Museumsmethode, Plenum

Möglicher Stundenablauf 2: Gruppenpuzzle

Stun- de	Aufgabe	Inhalt	Zeitdauer	Methode, Sozial- form
1	Einstieg (L1)	Ins Thema einführen / Meinung abfragen	15 min	Plenum
	Organisation des Gruppenpuzzles	Stammgruppen zusammenstellen; M1 bis M6 an die Stammgruppen ausgeben	5 min	Stammgruppen
	Bearbeitung M1 bis M6 als Gruppenpuzzle	M1: Grundsätzliches zum Elektroauto und seinen Umweltwirkungen (Internetrecherche) M2: Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung (Internetrecherche) M3: Umweltwirkungen der Produktherstellung M4: Umweltwirkungen der Elektroauto-nutzung Teil 1 M5: Umweltwirkungen der Elektroauto-nutzung Teil 2 M6: Umweltwirkungen der Elektroauto-nutzung Teil 3	25 min	ExpertInnengruppen
2	Bearbeitung Lö1 bis Lö6 als Gruppenpuzzle	Lösungen zu M1 bis M6	20 min	
	Sicherung M1 bis M6 und Lö1 bis Lö6	Austausch der Informationen aus M1 bis M6 und Lö1 bis Lö6 mit Ergebnissicherung auf Plakat	25 min	
3	Sicherung M1 bis M6 und Lö1 bis Lö6 (Fortsetzung)	Austausch der Informationen aus M1 bis M6 und Lö1 bis Lö6 mit Ergebnissicherung auf Plakat	20 min	Stammgruppen
	Bearbeitung M7	Umweltwirkungen der Elektroautoentsorgung und Gesamtbetrachtung	25 min	
4 und 5	Ergebnissicherung (L2) / Abschluss (L3)	Ergebnissicherung mit Präsentation der Ergebnisse / abschließende Diskussion	45 min + 45 min	Museumsmethode / Plenum

Ziele und angestrebte Kompetenzen

■ Stundenziele

Übergeordnete Stundenziele

- Die Teilnehmenden können beurteilen, inwiefern Elektroautos umweltfreundlich sind.
- Sie erkennen, dass die Klassifizierung umweltfreundlich (Elektroautos) und umweltschädlich (herkömmliche Autos) verkürzt ist und es einer differenzierten Betrachtung bedarf.
- Sie erkennen, dass die Produktion und oft auch die Nutzung materieller Güter grundsätzlich mit Umweltbelastungen verbunden ist und die Kategorisierung *umweltfreundlich* teils vorschnell erfolgt.

Feinziele

- Die Teilnehmenden schätzen die Umweltfreundlichkeit von Elektroautos ein.
- Sie beschreiben Vor- und Nachteile von Elektroautos.
- Sie identifizieren benötigte Rohstoffe für Elektroautos und erläutern Folgen des Rohstoffabbaus im Hinblick auf Umwelt und Gesellschaft.
- Sie bestimmen die Umweltauswirkungen der Produktherstellung eines Elektroautos anhand des Stromverbrauchs und schätzen die Umweltauswirkungen bei Stromerzeugung aus regenerativen Energien ein.
- Sie begründen anhand der Funktionsweise des Stromnetzes, dass herkömmlicher Strom und Ökostrom ununterscheidbar beim Verbraucher ankommen; sie erläutern, was das für die Umweltfreundlichkeit von Produktion und Nutzung von Elektroautos bedeutet.
- Sie zeigen auf, dass die Ermittlung der Umweltbelastungen der Elektroauto-nutzung anhand des durchschnittlichen Strommix zu falschen Ergebnissen führt.
- Sie erkennen, dass zur Ermittlung der Umweltbelastungen der Elektroauto-nutzung betrachtet werden muss, welche Kraftwerksarten den zusätzlich benötigten Strom erzeugen.
- Sie interpretieren Studien zum Nutzungsverhalten bei Elektroautos und leiten daraus Auswirkungen auf die Umwelt ab.
- Sie beurteilen die Umweltfreundlichkeit von Elektroautos unter Berücksichtigung aller vier Produktlebensphasen – auch im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren.
- Sie erkennen, dass die Produktion materieller Güter und oft auch deren Nutzung grundsätzlich mit Umweltbelastungen verbunden sind.
- Sie erkennen, dass sowohl herkömmliche wie auch elektrisch betriebene Autos große Auswirkungen auf die Umwelt haben und die absolute Klassifizierung zweifelhaft ist, dass Autos mit Verbrennungsmotor umweltschädlich und Elektroautos umweltfreundlich sind.

■ Angestrebte Kompetenzen

Analysekompetenz

- Die Teilnehmenden können die Umweltauswirkungen vermeintlich umweltfreundlicher Produkte an exemplarischen Fällen erkennen.

Urteilskompetenz

- Die Teilnehmenden können die Umweltauswirkungen der Produktion und der Nutzung von Produkten an exemplarischen Fällen beurteilen.
- Sie können ihr eigenes Konsumverhalten in Bezug auf Umweltauswirkungen einschätzen.

Handlungskompetenz

- Die Teilnehmenden können zu vermeintlich umweltfreundlichen Produkten begründete Kritik äußern.
- Sie können ihren eigenen Konsum unter Umweltgesichtspunkten anpassen.

Methodenkompetenz

- Die Teilnehmenden können im Internet zielgerichtet recherchieren und eigene Beurteilungen formulieren.

Materialübersicht

Materi- al- Nr.	Titel	Erläuterung	Vorbereitung	Check
L1		Beschreibung: Einstieg	Drucken (1 x, für die Lehrkraft)	☐
		Zitate zur Umweltfreundlichkeit von Elektroautos	Visualisierung vorbereiten. Alternativ: an die Tafel schreiben.	☐
M1	Grundsätzliches zum Elektroauto und seinen Umweltwirkungen	Beschreibung: folgende Erarbeitungsphase	Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
Lö1	Lösungen zu M1: Vor- und Nachteile von Elektroautos		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
M2	Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
Lö2	Lösungen zu M2: Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
M3	Umweltwirkungen der Produktherstellung		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
Lö3	Lösungen zu M3: Umweltwirkungen der Produktherstellung		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
M4	Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1	Material für Erarbeitung	Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
Lö4	Lösungen zu M4: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1	Lösung zur vorhergehenden Erarbeitung	Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
M5	Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2	Überleitung zur folgenden Anwendung	Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
Lö5	Lösungen zu M5: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2	Material für Anwendung: Beispiel-Prognose	Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
M6	Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐

Materi- al- Nr.	Titel	Erläuterung	Vorbereitung	Check
Lö6	Lösungen zu M6: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
M7	Umweltwirkungen der Elektroautoentsorgung		Drucken (Auflage: Anzahl der Teilnehmenden)	☐
L2		Beschreibung: Ergebnissicherung	Drucken (1 x, für die Lehrkraft)	☐
L3		Beschreibung: Abschlussdiskussion	Drucken (1 x, für die Lehrkraft)	☐

Zusätzliches Material / Hilfsmittel	Verwendung	Check
Projektionsgerät (Dokumentenkamera, Whiteboard, oder Beamer und Computer). Alternativ: - Zitate an Tafel schreiben oder vorlesen	Verschiedene Zitate als Einstieg (L1)	☐
Plakatpapier mit Stift	Zum Sammeln von Argumenten pro und contra der Umweltfreundlichkeit von Elektroautos (L1); Anzahl: 1 Zum Erstellen der Zusammenfassung der Erkenntnisse durch die Gruppen Für M7; Anzahl: Zahl der Gruppen	☐

Weiterführende Themenvorschläge

Vorschläge zur Vertiefung

Diese Vorschläge ermöglichen es, das Thema außerhalb des Schulstunden-Rhythmus zu vertiefen. Dabei kann auf die Interessen der Schülerinnen und Schüler sowie aktuelle Entwicklungen und lokale Gegebenheiten eingegangen werden.

■ Probleme von Ökobilanzen für Kraftfahrzeuge erarbeiten und besprechen

- Sind Elektroautos weniger umweltschädlich als Autos mit Verbrennungsmotoren? Ökobilanzen wollen auf diese Frage eine Antwort aufzeigen. Je nach zugrunde gelegten Annahmen kommen sie jedoch zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Im Unterricht lässt sich diese Problematik vertiefen – allgemein und an konkreten Beispielen.

■ Hybridautos auf Umweltfreundlichkeit prüfen

- Hybridautos besitzen zwei Antriebsmotoren: einen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor. Die Schülerinnen und Schüler recherchieren die Umweltbelastungen dieses Fahrzeugkonzepts und vergleichen sie mit jenen von reinen Elektroautos sowie Autos, die mit Verbrennungsmotor ausgerüstet sind. Zugleich erfolgt eine Bewertung, in wie weit solche Fahrzeuge praxistauglich sind bzw. werden können.

■ Wasserstoffbetriebene Autos mit Brennstoffzelle auf Umweltfreundlichkeit prüfen

- Bei diesem Fahrzeugkonzept erzeugt die Brennstoffzelle aus Wasserstoff Strom, der den elektrischen Antriebsmotor des Fahrzeuges antreibt. Die Schülerinnen und Schüler recherchieren die Umweltbelastungen dieses Fahrzeugkonzepts und vergleichen sie mit jenen von reinen Elektroautos sowie Autos, die mit Verbrennungsmotor ausgerüstet sind. Zugleich erfolgt eine Bewertung, in wie weit solche Fahrzeuge praxistauglich sind bzw. werden können.

■ Erdgasautos auf Umweltfreundlichkeit prüfen

- Eine ganze Reihe an Serienfahrzeugen ist auch in Versionen für den Erdgasbetrieb erhältlich. Teilweise lassen sich diese Autos wahlweise mit Erdgas oder Benzin (falls gerade keine Erdgastankstelle in der Nähe ist) betreiben. Die Schülerinnen und Schüler recherchieren die Umweltbelastungen dieses Fahrzeugkonzepts und vergleichen sie mit jenen von reinen Elektroautos sowie Autos, die mit Verbrennungsmotor ausgerüstet sind. Zugleich erfolgt eine Bewertung, in wie weit solche Fahrzeuge praxistauglich sind bzw. werden können.

■ Biokraftstoffe auf Umweltfreundlichkeit prüfen

- Aus Biomasse (etwa Raps, Mais, Zuckerrohr, Palmfrüchten) hergestellte Kraftstoffe werden in der Europäischen Union aufgrund einer EU-Richtlinie herkömmlichen Fahrzeugkraftstoffen beigemischt. Die Schülerinnen und Schüler recherchieren die Umweltbelastungen der Biokraftstoffherzeugung und vergleichen den Einsatz dieser Kraftstoffform gegenüber herkömmlichen Kraftstoffen (Benzin, Diesel).

Module, die Aspekte dieses Moduls weiterführen

Dieses Modul:		Weiterführendes Modul:		
Material-Nummer	Aspekt	Themeneinheit	Modul	Material-nummer
Gesamtes Modul	Umgang mit falschen und widersprüchlichen Aussagen	Vernetzt denken und handeln – komplexe Probleme meistern	Welche Fragen helfen, Situationen und Probleme zu verstehen?	Gesamtes Modul

Hinweise zum Materialien-Teil

L-Material für die Lehrperson

Die Bildungsplattform *Wandel vernetzt denken* greift Themen und Sichtweisen auf, die im klassischen Schulunterricht meist nicht im Fokus stehen, für Jugendliche aber von hoher Relevanz sind. Die Themen werden überwiegend fächerübergreifend behandelt, wobei die Schülerinnen und Schüler wichtige Zusammenhänge erkennen sollen. Aufgrund dieses Konzeptes und dieses Ansatzes sind die Erläuterungen für die Lehrperson in den Unterrichtsmodulen vergleichsweise ausführlich gehalten. Die ausführlichen Erläuterungen sind als Angebot zu verstehen, um komplexe und womöglich fachfremde Themen sicher unterrichten zu können.

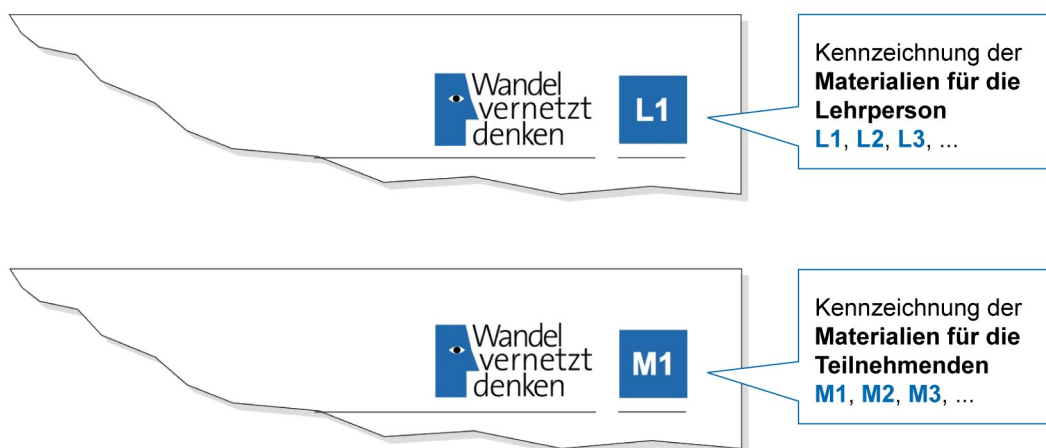
Aufbau und Sortierung des Materialien-Teils

Der Materialien-Teil des Moduls besteht aus L-Materialien, M-Materialien und Lö-Materialien.

- L-Materialien sind für die Lehrperson bestimmt und fassen deren Aufgaben im Stundenablauf zusammen.
- M-Materialien sind für die Schülerinnen und Schüler (Teilnehmende) bestimmt und beinhalten Texte und Aufgaben.
- Auch die Lö-Materialien sind für die Schülerinnen und Schüler bestimmt. Anhand dieser Lösungsblätter können sie ihre Arbeitsergebnisse überprüfen.

L-, M- und Lö-Materialien befinden sich im Materialien-Teil chronologisch nach dem Stundenablauf und den Phasen des Verlaufsplans sortiert.

Legende Materialkennzeichnung



Materialien

Hinweis zu Aufbau und Sortierung des Materialteils: siehe Seite 23.

→ Ins Thema einführen
→ Meinung abfragen

Material	■ Folie (siehe nächste Seite) ■ Projektionsgerät (ersatzweise Zitate an Tafel schreiben oder vorlesen)
Tun	■ Folie auflegen (alternativ Zitate an Tafel schreiben oder vorlesen).
Plenum	■ Staat und Autoindustrie wollen mehr Elektroautos auf die Straße bekommen. Ziel ist, auf diese Weise umweltschädigende Autos mit Verbrennungsmotor zu ersetzen und die Umwelt zu schützen. ■ Drei Zitate zu Elektroautos: Elektroautos gelten als umweltfreundlich. ■ Ob das stimmt, wollen wir nun prüfen. ■ Meinung abfragen: Sind Elektroautos umweltfreundlich? Falls ja: warum? Falls nein: warum nicht? → Ergebnisse auf einem Plakat sichern für das Ende der Modulbearbeitung.
Tun	■ PartnerInnenarbeit einleiten oder erstes (und evtl. zweites) Arbeitsmaterial als Hausaufgabe aufgeben.

Phase

1 Einstieg

2 Erarbeitung

3 Ergebnis-
sicherung

4 Abschluss

Hintergrundinformationen für Lehrperson

Die Aussage, Elektroautos seien umweltfreundlich, wurde in den letzten Jahren so häufig getätigt, dass sie weitgehend als Tatsache gilt. Parallel dazu haben Autohersteller den Umweltschutz als Verkaufsargument für Elektroautos zurück genommen.

Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die Umweltwirkungen von Elektroautos und herkömmlicher Automobile vergleichend gegenüberzustellen. Zwar gibt es einige Ansätze solcher Untersuchungen. Sie kommen jedoch zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Deshalb verzichtet dieses Unterrichtsmodul sowohl darauf, für Elektroautos komplette Ökobilanzen zu betrachten, als auch in der Folge die Umweltwirkungen von Elektroautos und Autos mit Verbrennungsmotoren bilanziell zu vergleichen. Bei den weiterführenden Themenvorschlägen sind diese Aspekte jedoch aufgegriffen.

Zitate zu Elektroautos

Folie

„Stromautos: sauber, leise und umweltfreundlich“

Handwerksblatt

**„Der neue ID.4:
stark wie ein SUV, nachhaltig wie ein ID.“**

VW

„Spaß kann so sauber sein.“

Bündnis 90/Die Grünen; Videoclip zu Elektroautos

Einzelnachweise

Zitat 1

Buhren, Stefan: *Stromautos: Sauber, leise und umweltfreundlich*. Artikel auf www.handwerksblatt.de, Juni 2017. www.handwerksblatt.de/themen-specials/5002950-stromautos-sauber-leise-und-umweltfreundlich.html, abgerufen am 22.12.2017.

Zitat 2

VW: *Elektroautos*. <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/elektro-und-hybridfahrzeuge.html>, abgerufen am 23.3.2023.

Zitat 3

Bündnis 90/Die Grünen: *Spaß kann so sauber sein*. www.youtube.com/watch?v=AtWVqGT5RYg, Videoclip in offiziellem youtube-Kanal von Bündnis 90/Die Grünen, 13.9.2017, abgerufen am 26.1.2018.

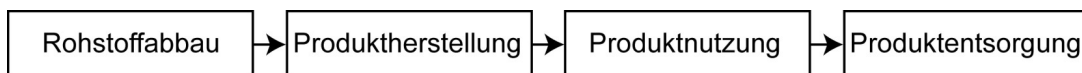
Grundsätzliches zum Elektroauto und seinen Umweltwirkungen



Lesen Sie den folgenden Text und bearbeiten Sie die Aufgabe.

Der Begriff Elektroauto ist weit gefasst. Thema dieses Moduls sind ausschließlich rein batteriebetriebene Elektroautos. Nicht zum Thema gehören beispielsweise Hybridfahrzeuge – sie besitzen sowohl einen Verbrennungs- als auch einen Elektromotor.

- 5 Um die Umweltwirkung eines Produktes beurteilen zu können, reicht es nicht aus, sich lediglich die Produktnutzung anzusehen – also das Fahren des Fahrzeuges. Vielmehr gilt es, vier Produktphasen zu berücksichtigen.



Im Weiteren betrachten Sie für das Elektroauto diese vier Produktphasen.

- 10 Sollen alle Umweltwirkungen im Detail erfasst werden, erstellt man aufwendige **Ökobilanzen**. Dies kann an dieser Stelle natürlich nicht geleistet werden – bei Ihren Recherchen soll es ausschließlich um die größten Wirkungen des Elektroautos auf die Umwelt gehen.

- 15 Zunächst recherchieren Sie die Vor- und Nachteile von Elektroautos. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse helfen später, eine über das Ökologische hinausgehende Gesamtbeurteilung durchzuführen. Dabei lässt sich der Nutzen von Elektroautos mit den sich daraus ergebenden Nachteilen und Schäden vergleichen.

Aufgabe



Recherchieren Sie und beschreiben Sie die Vor- und Nachteile von Elektroautos. Beziehen Sie dabei auch Argumente ein, die über Umweltaspekte hinausgehen.

Ökobilanzen

Mit solchen Bilanzen werden alle Umweltwirkungen eines Produktes über den gesamten Lebensweg eines Produktes vom Rohstoffabbau bis hin zur Produktentsorgung ermittelt. Detailliert werden die Umweltwirkungen berechnet und in Zahlen ausgedrückt (z.B. wie viele Kilogramm CO₂ freigesetzt werden).

Mögliche Lösungen zu M1: Vor- und Nachteile von Elektroautos

1. Vorteile von Elektroautos

- Führen zu besserer Luftqualität in Städten
- Führen zur Verminderung von Lärm in Städten
- Elektromotoren haben einen deutlich höheren Wirkungsgrad als Verbrennungsmotoren (→ Im Idealfall geringerer Energiebedarf*)
- Lassen sich mit Strom aus erneuerbaren Quellen betreiben, falls genug Ökostrom zur richtigen Zeit zur Verfügung steht; die Batterien können aufgeladen werden, wenn ein Überschuss an Öko-Energie zur Verfügung steht (Sonnen- und Windenergie)
- Weisen geringere Kosten beim Fahrzeugbetrieb auf (Stromkosten)
- Ermöglichen, beim Bremsen Energie zurückzugewinnen
- Dank weniger Verschleiß (Motor) und Verzicht auf das Getriebe ist die Technik von Elektroautos langlebiger und wartungsfreundlicher als das bei herkömmlichen Autos der Fall ist → Ressourceneinsparungen

2. Nachteile von Elektroautos

- Die Ladeinfrastruktur ist noch nicht flächendeckend ausgebaut,.
- Das Laden dauert länger als das Tanken von Autos mit Verbrennungsmotor.
- Deutlich geringere Batteriekapazität bei Kälte, und damit geringere Reichweite des Elektroautos
- Kapazität der Batterien lässt mit der Zeit nach
- Zurzeit hoher Kaufpreis (falls der Staat den Kauf von Elektroautos nicht finanziell fördert)

Offen

Sind Elektroautos umweltfreundlich?

* Hintergrundinformation zum Wirkungsgrad

Für Elektroautos werden durchschnittliche Wirkungsgrade von 64 bis 77 % (bei vollständiger Stromerzeugung aus regenerativen Quellen) bzw. 45 % (bei Stromerzeugung nach dem Strommix in Deutschland) angegeben – während der Wirkungsgrad von Autos mit Benzin-verbrennungsmotor durchschnittlich 20 % beträgt und bei Dieselmotoren 24 %. Dabei wird der gesamte Prozess von der Energiequelle bis zu den Rädern des Autos betrachtet (well to wheel). Erfolgt die Aufladung der Fahrzeugbatterie mit Kohlestrom bzw. ist wegen des zusätzlichen Bedarfs an Strom für Elektroautos von der Nutzung von Kohlestrom auszugehen (siehe **M5**), verringert sich der Wirkungsgrad des Elektroautos nochmals deutlich (der durchschnittlicher Wirkungsgrad von Kohlekraftwerken beträgt in Deutschland knapp 40 %).

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Maschine gibt an, welcher Teil der zugeführten Energie genutzt werden kann. Ideal wäre ein Wirkungsgrad von 100 %; in der Praxis ist das aber nicht möglich.

Quellen zum Wirkungsgrad

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Effizienz und Kosten: Lohnt sich der Betrieb eines Elektroautos?. Stand: 1.10.2021.

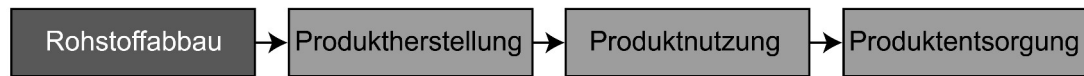
<https://www.bmvv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten>, abgerufen am 31.7.2023.

Deutsche Umwelthilfe: *Wie umweltverträglich sind Elektroautos?* DUH Infopapier, 31.1.2023, S. 3. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Batterien/230201_Umweltvertraeglichkeit_Elektroautos.pdf, abgerufen am 31.7.2023.

RP-Energie-Lexikon: *Kohlekraftwerk*. <https://www.energie-lexikon.info/kohlekraftwerk.html>, abgerufen am 31.7.2023.

Martin Wietschel et al.: *Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für Pkw und Lkw – Endbericht*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, September 2019, S. 21. <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2019/klimabilanz-kosten-potenziale-antriebe-pkw-lkw.pdf>, abgerufen am 31.7.2023.

Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung



Jedes materielle Produkt wie Hose, Smartphone oder Auto besteht aus unterschiedlichen Teilen. Um sie herstellen zu können, braucht es Materialien wie Jeansstoff, Kunststoff oder Metall. Für deren Herstellung wiederum müssen Rohstoffe aus der Erde abgebaut bzw. gewonnen werden (oder landwirtschaftlich angebaut; Beispiel Baumwolle). Zudem müssen die Rohstoffe zu Werkstoffen oder Materialien weiterverarbeitet werden.

Am Beginn des Lebenszyklus eines Produktes steht deshalb der Abbau der Rohstoffe (einschließlich ihrer Weiterverarbeitung). Im Folgenden ist es Ihre Aufgabe, zu den Umweltauswirkungen der Rohstoffgewinnung für Elektroautos zu recherchieren.

Aufgaben



Recherchieren Sie im Internet und beantworten Sie die folgenden Fragen schriftlich.



1. Benennen Sie, welche Rohstoffe für den Bau von Elektroautos verwendet werden – insbesondere für die Lithium-Batterien sowie den Elektromotor.
2. Beschreiben Sie in Stichworten die Umweltwirkungen, die sich durch den Abbau dieser Rohstoffe ergeben.
3. Benennen Sie soziale Folgen, die sich durch den Abbau des Rohstoffes Kobalt vor Ort ergeben.



Für Ihre Internetrecherche können Sie in einer Suchmaschine folgende Stichworte nutzen:

- Elektroautos + Rohstoffe (+ Batterie)
- Elektroautos + Rohstoffe + Umwelt
- Rohstoffabbau + Umwelt
- Rohstoffabbau + Kobalt

Lösungen zu M2: Umweltwirkungen von Rohstoffabbau und -verarbeitung

1. Rohstoffe für die Produktion von Elektroautos

- Eisen (für Stahl)
- Bauxit (für Aluminium)
- Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt, Grafit (Lithium-Ionen-Akkus)
- Lithium, Eisen, Phosphat (Lithium-Eisen-Phosphat-Akkus)
- Kupfer (Elektromotor, Batterie, Kabel)
- Seltene Erden (Elektromotor)

2. Umweltauswirkungen des Rohstoffabbaus

- Verschmutzung von Boden, Luft und Wasser
- Gesundheitliche Probleme bei Minenarbeitern und Bevölkerung
- Zerstörung landwirtschaftlicher Flächen

3. Soziale Folgen des Kobaltabbaus im Kongo

- Kinder- und Zwangsarbeit
- Völlig unzureichender Arbeitsschutz: gefährliche Arbeitsbedingungen
- Krankheiten der Minenarbeiter (z.B. Lungenkrankheiten) und Todesfälle

Zusatzerkennntnis:

Auch Autos mit Verbrennungsmotor haben einen hohen Rohstoffbedarf.

Einzelnachweis

Soziale und andere Folgen des Kobaltabbaus im Kongo, u.a.:

Amnesty International: *This is what we die for: Human rights abuses in the democratic republic of the Congo power the global trade in cobalt*. New York, 2016.

www.amnesty.org/download/Documents/AFR6231832016ENGLISH.PDF

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: *Analyse des artisanalen Kupfer-Kobalt-Sektors in den Provinzen Haut Katanga und Lualaba in der Demokratischen Republik Kongo*. Hannover, 2019.

www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_BGR_kupfer_kobalt_kongo_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4

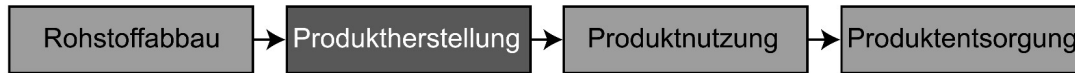
Jonas Gerding: *Kobalt aus dem Kongo: Der Makel der E-Mobilität*. Deutsche Welle, 2.7.2019.

www.dw.com/de/kobalt-aus-dem-kongo-der-makel-der-e-mobilit%C3%A4t/a-49366776.

Linda Staude: *Der hohe Preis für Elektroautos und Smartphones – Kobaltabbau im Kongo*.

Deutschlandfunk, 25.7.2019. www.deutschlandfunk.de/kobaltabbau-im-kongo-der-hohe-preis-fuer-elektroautos-und.724.de.html?dram:article_id=454818

Umweltwirkungen der Produktherstellung



Die Herstellung von Produkten ist immer mit Umweltauswirkungen verbunden. Das ergibt sich aus der Verarbeitung von Materialien zu Einzelteilen. Die Produktion erfordert Strom und teils Wärme. Diese zu erzeugen führt fast immer zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt – etwa durch Freisetzung von CO₂, das den Klimawandel antreibt. Außerdem können umweltschädliche Abfälle entstehen und Luft sowie Wasser verunreinigt werden.

Bei großen technischen Produkten wie einem Auto sind die Umweltfolgen der Herstellung bedeutend. Es würde deshalb zu kurz greifen, lediglich die Umweltbelastungen der Produktnutzung zu betrachten, die Herstellung aber auszuklammern.

Zu den Umweltbelastungen der Herstellung von Elektroautos stellt das Fraunhofer-Institut für Bauphysik nach Abschluss einer Studie über die Praxistauglichkeit und die Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen fest:

„Zu Beginn seines Lebens sieht die Umweltbilanz des Elektroautos nicht rosig aus. In der Herstellungsphase fallen die Umweltwirkungen deutlich höher aus, als bei konventionellen Fahrzeugen. Das liegt an den Batteriesystemen, und vor allem am Abbau, der Aufbereitung sowie der Pro-

duktion der High-Tech-Werkstoffe, die in den Batteriezellen eingesetzt werden. Diese sind im Vergleich zu den im restlichen Fahrzeug eingesetzten Werkstoffen, wie hauptsächlich Stahl, Kunststoffe, Leicht- und Buntmetalle, mit deutlich höheren Umweltwirkungen verbunden.“

Zitatquelle: *Angepasst mobil*. Forschung im Fokus. Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Juni 2016.
www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse_und_Medien/Forschung_im_Fokus_Uebersicht/Archiv/Juni_2016_Angepasst_mobil.html

Laufend veröffentlichen Forschungsinstitute Studien, wie viele Kilometer ein Elektroauto fahren muss, damit es den ökologischen Nachteil aus der Autoproduktion wieder wettgemacht hat – dank geringen Emissionen im Betrieb gegenüber Autos mit Verbrennungsmotor. Die Studienergebnisse fallen ganz unterschiedlich aus.

Doch wie wird ermittelt, nach wie vielen Kilometern Fahrleistung das Elektroauto einen ökologischen Vorteil gegenüber einem Benzinfahrzeug besitzen könnte? Es werden für beide Fahrzeugarten jeweils die CO₂-Emissionen miteinander verrechnet, die zum einen bei der Produktion und zum anderen im Betrieb des Fahrzeugs anfallen. Dabei ist ein entsprechender **Strommix** zugrunde zu legen.

Je nachdem, in welchem Land die Batterie des Autos gefertigt wird, ist ein anderer Strommix anzusetzen. Kommt die Batterie aus China mit seinem hohen Anteil an Kohlekraftwerken, sieht die Umweltbilanz der Herstellung deutlich schlechter aus als bei Produktion in einem Land mit geringerem Anteil an Kohlekraftwerken.

Gleichfalls macht es einen Unterschied, ob das Elektroauto beispielsweise in der Schweiz mit seinem hohen Anteil an Wasserkraft oder in Deutschland gefahren und die Batterie geladen wird.

Angesichts dieser Tatsachen sind pauschale Aussagen kritisch zu betrachten, dass Elektroautos nach einer konkreten Zahl an gefahrenen Kilometern ökologischer seien als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Im Material **M5** werden Sie sich dar-

Strommix

Der Strommix eines Landes gibt in Prozent an, aus welchen Energieträgern der Strom erzeugt wurde. Energieträger sind beispielsweise Erdgas, Mineralöl, Kohle, Uran (Kernkraft) und im weiteren Sinne Wasserkraft, Solar- und Windenergie.

über hinaus zur Frage Gedanken machen, ob der Strommix überhaupt der richtige Maßstab ist, um die Umweltbelastungen der Elektroautonutzung zu ermitteln.

Aufgaben



Bearbeiten Sie die folgenden Fragen schriftlich.



1. Begründen Sie in drei bis fünf Sätzen, ob die Produktion eines Elektroautos gut für die Umwelt bzw. umweltfreundlich ist.
2. Entwerfen Sie in wenigen Worten ein wünschenswertes Szenario, wie der Strommix in Zukunft aussehen sollte.
3. Erläutern Sie kurz, ob die Herstellung von Autos mit Verbrennungsmotoren umweltfreundlich ist.

Lösungen zu M3: Umweltwirkungen der Produktherstellung

1. Ist die Produktion von Elektroautos gut für die Umwelt bzw. umweltfreundlich?

- Nein, es treten hohe Umweltbelastungen auf.
- Bezogen auf den Energieverbrauch und den CO₂-Ausstoß schneidet ein Elektroauto in der Produktion deutlich schlechter ab als ein herkömmliches Auto.
- Der Grund: die aufwendige Batterieherstellung.

2. Wünschenswertes Szenario für den zukünftigen Strommix

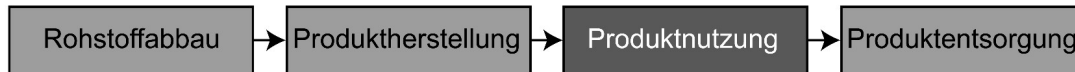
- Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern möglichst gering.
- Stromerzeugung aus regenerativen Quellen möglichst stark.

→ Nach Möglichkeit Strom komplett aus regenerativen Quellen gewinnen.

3. Ist die Herstellung von Autos mit Verbrennungsmotoren umweltfreundlich?

- Nein, die Herstellung von Autos mit Verbrennungsmotoren ist ebenfalls mit hohen Umweltbelastungen verbunden.
- Große Mengen an Rohstoffen müssen abgebaut, aufbereitet und zu Teilen weiterverarbeitet werden.
- Grundsätzlich ist die Produktion materieller Güter mit Umweltbelastungen verbunden.

Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1



Fahren Elektroautos emissionsfrei und klimaschützend?

Wie stark Elektroautos die Umwelt belasten, hängt neben der Art ihrer Produktion vor allem von der Fahrzeugnutzung ab. Dabei steht die Erzeugung des Stroms, mit dem die Batterie des Autos geladen wird, im Mittelpunkt.

- 5 Vor allem Autohersteller, einige Parteien, PolitikerInnen sowie Stromversorgungsunternehmen verkünden: Elektroautos würden emissionsfrei fahren, also ohne Abgase freizusetzen. Überdies schützten sie das Erdklima, da sie kein CO₂ emittieren, wie es Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor tun.

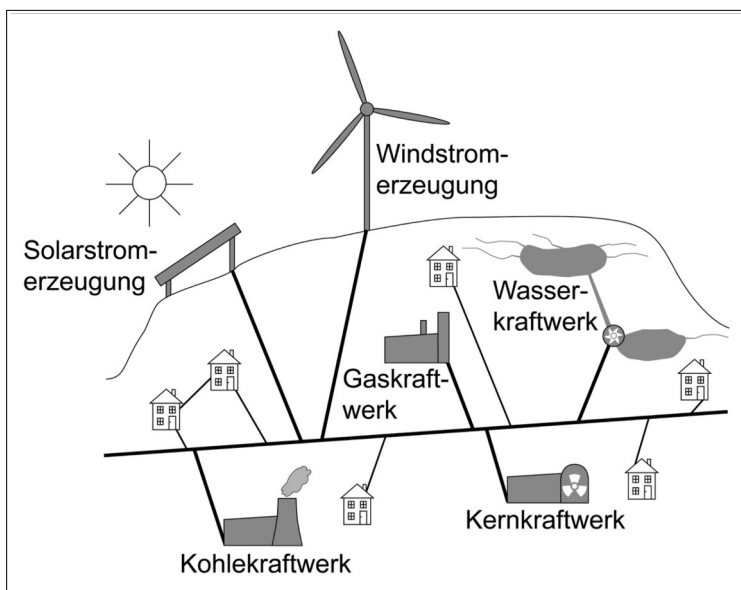
- 10 Tatsächlich verschmutzen Elektroautos beim Fahren die Luft zunächst deutlich weniger als Autos mit Verbrennungsmotoren, da sie keine Abgase erzeugen. So können sie auf diese Weise für sauberere Luft in Städten sorgen – dazu für weniger Verkehrslärm. Doch die Emissionen sind teils verlagert: Nicht der Automotor erzeugt dann schädliche Abgase und trägt zum Klimawandel bei, sondern die Kraftwerke, die den Strom erzeugen – in vielen Fällen in Deutschland noch Kohle- und Gaskraftwerke. Doch der verstärkte Einsatz von Strom aus regenerativen Quellen kann die Umweltbilanz des Elektroautos deutlich verbessern. Die Emissionen im Betrieb können dann insgesamt geringer sein als bei herkömmlichen Autos. Mit einem Elektroauto zu fahren bedeutet heute aber keine emissionsfrei Mobilität.

Umweltfreundlich durch Nutzung von Ökostrom?

- 20 Wer die Batterie eines Elektroautos mit **Ökostrom** auflädt, handele umweltfreundlich, wird oft argumentiert. Schließlich würden keine Abgase und kein CO₂ emittiert. Dieses Argument ist zentral bei der Diskussion um mögliche Umweltvorteile von Elektroautos. Doch stimmt das überhaupt? Um diese Frage zu beantworten, sind einige Details zu betrachten. Beantworten Sie dazu die folgenden Fragen.

Ökostrom

Strom, der aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird (z.B. durch Solar-, Wind- und Wasserkraftwerke). Manche Stromversorger zählen auch Strom dazu, der in Kraft-Wärme-Kraftwerken erzeugt wird; dabei wird meist Erdgas verbrannt.



Aufbau des Stromnetzes (symbolisch und vereinfacht)

Aufgaben



1. Betrachten Sie die Abbildung zum Stromnetz. Es zeigt symbolisch, wie Kraftwerke und Stromverbraucher durch Stromleitungen vernetzt sind. Erläutern Sie, ob sich der Strom eines Verbrauchers einer Stromerzeugungsart (z.B. Solarenergie, Windenergie) zuordnen lässt.
2. Ausgehend von Ihrer Antwort aus Aufgabe 1:
Ökostromanbieter verkaufen ihren KundInnen Ökostrom. Erhält man als KundIn eines Ökostromlieferanten wirklich ausschließlich Ökostrom? Begründen Sie Ihre Antwort.
3. Ökostrom wird vor allem aus Wasserkraft, Sonnenstrahlung und Wind erzeugt. Erklären Sie, was passiert, wenn bei bedecktem Himmel, nachts oder bei Windstille Strom verbraucht wird.
4. Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie aus Ihren Antworten auf die Fragen 1 bis 3 in Bezug auf die Umweltfreundlichkeit von Elektroautos, deren NutzerInnen Ökostrom bestellt haben? Fassen Sie Ihre Erkenntnis schriftlich zusammen.

Falls noch Zeit bleibt: Bearbeiten Sie die folgende Aufgabe.

+Aufgabe



5. Der Strom, den Wasserkraftwerke sowie Solar- und Windkraftanlagen erzeugen, wird in das Stromnetz eingespeist und bereits heute vollständig genutzt. Stellen Sie sich nun vor, dass Sie, Ihre Nachbarn und deren Nachbarinnen Elektroautos anschaffen und zur Ladung der Batterien Ökostrom bestellen. Nun verkaufen die Stromversorger größere Mengen an Ökostrom als zuvor, ohne dass wegen Ihrer zusätzlichen Bestellung von Ökostrom der Ausbau der Ökostromerzeugung erweitert würde – im Vergleich zur bisherigen Planung des Baus von z.B. Windkraftanlagen und Wasserkraftwerken. Welche Folgen hätte es demnach, dass Sie zusätzlichen Ökostrom bestellen?

Hintergrundinformationen: Der Ausbau von Kraftwerken zur Erzeugung von Ökostrom läuft aus unterschiedlichen Gründen relativ langsam. Die Möglichkeiten, neue Wasserkraftwerke und Windkraftanlagen zu bauen, sind aus räumlichen Gründen und aufgrund von Naturschutzauflagen begrenzt. Dennoch haben Deutschland, Österreich und die Schweiz ehrgeizige Ziele, ihren Energiebedarf aus regenerativen Quellen zu decken. In Deutschland kommt hinzu: Durch das Abschalten von Kernkraftwerken fielen Kapazitäten zur Stromerzeugung weg, die vergleichsweise wenig klimaschädlich sind.

Lösungen zu M4: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 1

1. Lässt sich der Strom eines Verbrauchers einer Stromerzeugungsart (z.B. Solarenergie, Windenergie) zuordnen?

Nein. Jeder Verbraucher erhält einen Strommix. Er setzt sich zusammen aus dem Strom, den alle Kraftwerke in das Leitungsnetz eingespeist haben. Das Stromangebot im Leitungsnetz lässt sich als See verstehen, in den die Kraftwerke ihren Strom einleiten. In einem See mit vielen Zuflüssen lässt sich nicht feststellen, woher ein Wassertropfen stammt.

2. Ökostromanbieter verkaufen ihren KundInnen Ökostrom. Erhält man als KundIn eines Ökostromlieferanten wirklich ausschließlich Ökostrom?

Nein. Als ÖkostromkundIn erhält man den gleichen Strommix wie alle anderen KundInnen in der Umgebung. Die Stromversorgungsunternehmen ordnen den ÖkostromkundInnen den Ökostrom lediglich gedanklich sowie rechnerisch zu. Hingegen erhalten im Gegenzug die NormalkundInnen – sie haben keinen Ökostrom bestellt – gedanklich etwas mehr umweltschädlicher erzeugten Strom zugerechnet.

3. Ökostrom wird vor allem aus Wasserkraft, der Sonne und dem Wind erzeugt. Was passiert, wenn bei bedecktem Himmel, nachts, im Winter oder bei Windstille Strom verbraucht wird?

ÖkostromkundInnen erhalten in allen Fällen Strom, der nach dem aktuellen Strommix erzeugt wurde. Enthält der Strommix wenig Ökostrom, bekommen auch ÖkostromkundInnen wenig Ökostrom geliefert. Vor allem nachts wird der Strom in Deutschland in hohem Maße durch klimaschädliche Kohlekraftwerke erzeugt. Wer die Batterien seines Elektroautos nachts auflädt, tut dies vor allem mit Strom aus Kohlekraftwerken – selbst, wenn Ökostrom bestellt und bezahlt wird.

Zusatzinformation: Ökostromanbieter stellen sicher, dass sie über ein gesamtes Jahr so viel Ökostrom in das Stromnetz einspeisen, wie sie an ihre KundInnen verkaufen. Erzeugen sie nachts oder im Winter zu wenig Ökostrom, dann produzieren sie tagsüber und im Sommer entsprechend mehr Ökostrom. Lediglich einige wenige Stromversorger bieten an, zu jedem Zeitpunkt genau so viel Ökostrom in das Leitungsnetz einzuspeisen, wie ihre Kundinnen erwartungsgemäß gerade verbrauchen. Dazu nutzen Sie üblicherweise die Energie aus großen Wasserkraftwerken.

4. Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie aus Ihren Antworten auf die Fragen 1 bis 3 in Bezug auf die Umweltfreundlichkeit von Elektroautos, deren Nutzer Ökostrom bestellt haben?

Individuelle Antwort.

5. Der Strom, den Wasserkraftwerke sowie Solar- und Windkraftanlagen erzeugen, wird in das Stromnetz eingespeist und bereits heute vollständig genutzt. Stellen Sie sich nun vor, dass Sie, Ihre NachbarInnen und deren NachbarInnen Elektroautos kaufen und zur Ladung der Batterien Ökostrom bestellen. Nun verkaufen die Stromversorger größere Mengen an Ökostrom als zuvor, ohne dass wegen Ihrer zusätzlichen Bestellung von Ökostrom der

Ausbau der Ökostromerzeugung erweitert würde im Vergleich zur bisherigen Planung. Welche Folgen hat es demnach, dass Sie zusätzlichen Ökostrom bestellen?

Indem Sie ein Elektroauto kaufen und zum Aufladen der Batterien Strom benötigen, schaffen Sie einen zusätzlichen Strombedarf. Diesen möchten Sie über Ökostrom decken. Aller Ökostrom, der bisher erzeugt wird, wird bereits verbraucht – als Ökostrom vermarktet oder als normaler Strom im Rahmen des Strommix verkauft. Wer zusätzlich Ökostrom bestellt, sorgt dafür, dass jemand anderem mehr Kohle-, Gas- oder Atomstrom zugerechnet wird. Das sind diejenigen Personen und Haushalte, die salopp formuliert „Egal-Strom“ beziehen. Egal-Strom beziehen jene, die Strom ohne Kennzeichnung bestellt haben – ihnen ist egal, ob ihnen Ökostrom, Kohlestrom oder Gasstrom gedanklich zugerechnet wird. Als Konsequenz ergibt sich ein Nullsummenspiel: Ihnen als ÖkostromkundIn wird eine größere Menge Ökostrom zugerechnet, anderen hingegen in gleichem Maße mehr umweltschädlich erzeugter Strom. Die eigentliche Stromerzeugung bleibt gleich, sodass sich auch die Umweltauswirkungen nicht ändern.

Zusatzinformation für am Detail Interessierte:

Sie könnten argumentieren: Indem Sie zusätzlichen Ökostrom bestellen, haben Sie ein Anrecht auf jenen Strom, der in neu gebauten Ökokraftwerken entsteht – als gedankliche Zuordnung. Doch erfolgt der Ausbau der regenerativen Energien – Wind-, Wasser-, Solar- sowie Biogas- und Biomasseanlagen – in der Regel unabhängig von Ihrer Bestellung von Ökostrom: Auch wenn Sie keinen Ökostrom bestellen, werden diese Stromerzeugungsanlagen gebaut. Ob deren Strom Ihnen, anderen oder dem Strommix zugerechnet wird, macht keinen Unterschied.

Exkurs

Genialer Trick: Mann lädt sein Elektroauto einfach über den Zigarettenanzünder auf

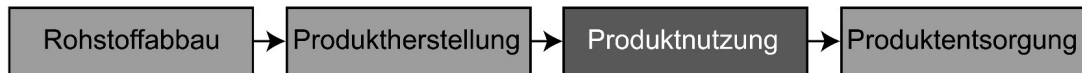


Quelle

Screenshot www.der-postillon.com/2015/12/genialer-trick-mann-ladt-sein.html
(CC BY-NC-SA 3.0)

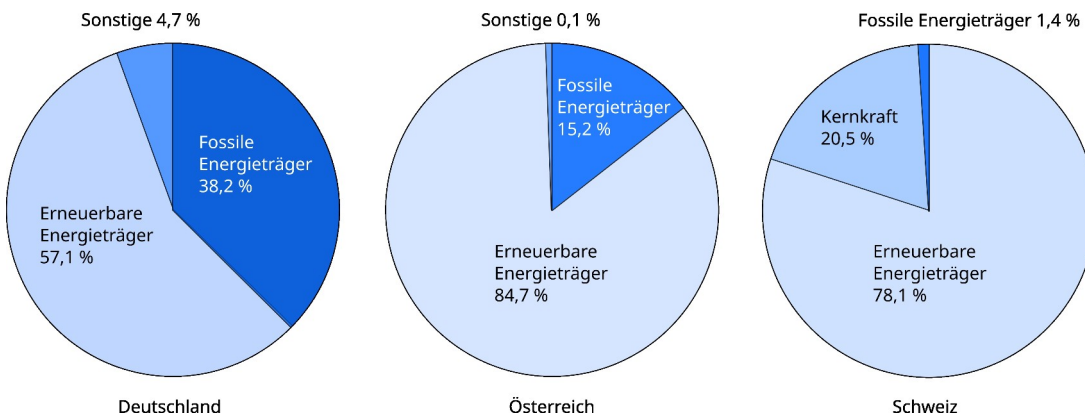
Die Batterie des Elektroautos durch Strom aus sich selbst aufzuladen: Dieser Trick funktioniert natürlich nicht.

Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2



Strommix als Basis für Umweltauswirkungen?

Um die Umweltwirkungen von Elektroautos zu ermitteln, wird in Ökobilanzen für die Stromerzeugung der durchschnittliche Strommix des betroffenen Landes verwendet. Man betrachtet also, welchen Anteil die einzelnen Stromerzeugungsarten an der gesamten Stromerzeugung innerhalb eines Jahres aufweisen – oder am Stromverbrauch. Dementsprechend werden anteilig die Umweltwirkungen betrachtet und mit denen von Autos mit Verbrennungsmotor verglichen.



Strommix des Stroms in Deutschland (2024) sowie in Österreich und in der Schweiz (2023).

Im Strommix von Deutschland zählen zu Sonstige z.B. Teile des verbrannten Hausmülls sowie Industrieabfälle als Energieträger.

Erstellt nach Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (D), Energie-Control Austria (A), Pronovo AG (CH).

Bei dieser Betrachtung macht es einen großen Unterschied, in welchem Land ein Elektroauto betrieben wird.

Aufgaben



1. Erläutern Sie schriftlich, warum es einen großen Unterschied macht, in welchem Land ein Elektroauto betrieben wird, wenn der Strommix die Basis von ökologischen Betrachtungen ist.
2. Erörtern Sie, ob es sachlich korrekt ist, den Strommix als Basis für die Umweltauswirkung zu nehmen. Berücksichtigen Sie in Ihren Überlegungen die Antwort zur Frage 5 des vorhergehenden Materials (siehe [Lö4](#)). Erläutern Sie Ihre Erkenntnisse schriftlich.
3. In [M3](#) wurde die weit verbreitete Ansicht beschrieben, dass Elektroautos heute nach einer bestimmten Anzahl gefahrener Kilometer umweltfreundlicher seien als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren; die Begründung: Die erhöhten Umweltbelastungen der Elektroautoproduktion seien dann durch Einsparungen im Betrieb gegenüber Autos mit Verbrennungsmotoren ausgeglichen. Basis solcher Berechnungen ist der Strommix des Produktionslandes sowie des Landes der Autonutzung.
Erläutern Sie anhand Ihrer Antwort aus Aufgabe 2, warum solche Ergebnisse auf einer falschen Argumentation beruhen.

Falls noch Zeit bleibt: Bearbeiten Sie die folgende Aufgabe.



Aufgabe



Lesen Sie den folgenden Text und bearbeiten Sie die sich anschließende Aufgabe.

10 Wie Egal-Strom zu Ökostrom wird

Einzelne Versorgungsunternehmen, die Strom aus Kohlekraft- und Kernkraftwerken im Angebot haben, verkaufen diesen Strom als Ökostrom. Dazu kaufen sie beispielsweise von Betreibern von Wasserkraftwerken in Norwegen Ökostromzertifikate, nicht aber den Strom selbst. Mit diesen Zertifikaten können hiesige Stromversorger jenen Strom, der in Kohle- und Kernkraftwerken erzeugt wird, zu Ökostrom umetikettieren. Entsprechend steigt rechnerisch die Menge an Ökostrom im Lande an, obwohl er woanders produziert und verbraucht wurde – zugleich sinkt die Menge an besonders umweltschädlich erzeugtem Strom rechnerisch in gleichem Maße.

In Norwegen ändert sich die Stromkennzeichnung in umgekehrtem Maß: Das Land erzeugte 2021 99 % seines Stroms aus erneuerbaren Quellen. Nach der Umdeklaration wies die Stromkennzeichnung lediglich noch 15 % für erneuerbare Quellen aus. Hingegen entfielen 62 % auf fossile Rohstoffe und 23 % auf Kernkraft. Ein Problem haben die norwegischen Haushalte damit offensichtlich nicht: Schließlich kaufen und verbrauchen sie ja jenen Strom, der aus Wasserkraft erzeugt wurde – Stromkennzeichnung hin oder her. Zudem ist das Land stolz auf seinen hohen Anteil an Strom aus regenerativen Energien.



4. Sammeln Sie mögliche Gründe für die Umetikettierung von Strom und beurteilen Sie dieses Verfahren.

Einzelnachweise

Strommix Deutschland (erzeugter Strom):

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: *Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2024 (in TWh) Deutschland insgesamt*. 20.2.2025..

<https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2025/02/Strerz-Abgabe-2025-02.pdf> (abgerufen am 4.3.2025).

Strommix Österreich (Kennzeichnung des im Inland verkauften Stroms):

Energie-Control Austria (Hrsg.): *Strom- und Gaskennzeichnungsbericht 2024. Berichtsjahr 2023*. Wien, 2024, S. 7. <https://www.e-control.at/documents/1785851/1811582/E-Control-Strom-und-Gaskennzeichnungsbericht-2024.pdf/291cbae9-5a73-68d9-a905-623529e0af90?t=1730104254587> (abgerufen am 4.3.2025).

Strommix Schweiz (Kennzeichnung des im Inland verkauften Stroms):

Pronovo AG: *Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz – Berichtsjahr 2023*. S. 2.

https://shkn.pronovo.ch/dokumente/de/Cockpit_Stromkennzeichnung_de.pdf (abgerufen am 4.3.2025).

Strommix Norwegen mit und ohne Zertifikate:

Noregs vassdrags- og energidirektorat: *Electricity disclosure 2021*. <https://www.nve.no/energy-supply/electricity-disclosure/> (abgerufen am 15.2.2023).

Lösungen zu M5: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 2

1. Erläutern Sie, warum es einen großen Unterschied macht, in welchem Land ein Elektroauto betrieben wird, wenn der Strommix die Basis von ökologischen Betrachtungen ist.

- Der Strommix setzt sich in jedem Land anders zusammen, daraus ergeben sich unterschiedliche Umweltwirkungen der Stromnutzung. Beispiele: Deutschland hat einen hohen Anteil an fossilen Energieträgern bei der Stromerzeugung. In der Schweiz und Österreich hingegen ist der Anteil an erneuerbaren Energieträgern besonders hoch. Während in Österreich die fossilen Energieträger mit 18 % zur Stromerzeugung beitragen, sind es in der Schweiz lediglich etwa 2 %. Dafür stammt in der Schweiz fast ein Fünftel des Stroms aus Kernkraftwerken.

Fossile Energieträger fördern die Erderwärmung (Klimawandel); Kernkraft ist mit hohen Risiken für Mensch und Umwelt verbunden.

2. Überlegen Sie, ob es sachlich korrekt ist, den Strommix als Basis für die Umweltauswirkung zu nehmen.

- Es ist sehr fragwürdig, den durchschnittlichen Strommix zugrunde zu legen. Denn er zeigt auf, wie der Strombedarf in der Vergangenheit gedeckt wurde. Durch den Kauf eines Elektroautos erhöht sich jedoch der Strombedarf (und wenn viele Elektroautos gekauft werden, steigt der Strombedarf deutlich). Zusätzlicher Strombedarf erfordert zusätzliche Stromerzeugung. Der renommierte Energieforscher und -berater Dieter Seifried schrieb 2017 dazu:

„Will man wissen, wie viel Emissionen ein zusätzlicher Stromverbrauch verursacht, darf man nicht mit einem Durchschnittswert für die Kraftwerksemissionen rechnen, sondern muss fragen, welche Kraftwerke für den zusätzlichen Strombedarf eingesetzt werden. Die Antwort darauf ist eindeutig: Bei dem derzeitigen Ausbau-	tempo der erneuerbaren Energien wird Strom für Elektrofahrzeuge in den nächsten 15 Jahren nicht aus umweltfreundlichen Energiequellen kommen, sondern aus einer Mischung von Braunkohle, Steinkohle und Erdgas. [...] Anstatt eines scheinbaren Vorteils für Elektrofahrzeuge erreichen sich nun Mehremissionen!“
---	---

Einzelnachweis:
Zitat Dieter Seifried
Seifried, Dieter: *Umsteigen auf einen elektrischen Klimakiller?* In: *Energiedepeche* 4-2017, S. 14-15.

Zu unterscheiden ist also zwischen der Situation, in der ein zusätzlicher Strombedarf besteht, und der Situation ohne zusätzlichen Strombedarf. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage: Wie wird der zusätzliche Strom erzeugt? Verwendet man hingegen den Strommix für die Betrachtungen, unterbleibt diese Differenzierung.

- In Deutschland soll bis zum Jahr 2038 aus der Kohlekraft ausgestiegen und bis dahin alle Kohlekraftwerke stillgelegt sein (Kohleausstiegsgesetz). Weitergehend hat die 2021 gewählte rot-grüne Bundesregierung im Koalitionsvertrag vorgesehen, möglichst schon bis 2030 aus der Kohlekraft auszusteigen. Nach und nach wird also die Verwendung von Kohlestrom für Elektroautos abnehmen. Konzepte, wie die wegfallende Stromerzeugung durch andere Kraftwerksarten und insbesondere regenerative Erzeugung ausgeglichen werden kann, gibt es. Dabei ist zu beachten, dass Prognosen zufolge der Stromverbrauch zunehmen wird beispielsweise durch

die zunehmende Zahl an Elektroautos und die Forcierung der Wärmepumpe für Gebäudeheizungen.

Ob sich diese Konzepte umsetzen lassen, bleibt zu zeigen. So heißt es in der Studie *Klimaneutrales Stromsystem 2035* von Agora Energiewende, der Prognos AG und der Consentec GmbH aus dem Jahr 2022:

„Die Zielerreichung erfordert [...] einen Paradigmenwechsel in Kernbereichen des Stromsystems. Insbesondere müssen Planungs- und Genehmigungsverfahren für Erneuerbare Energien, Strom- und Wasserstoffnetze konsequent vereinfacht und beschleunigt werden. Darüber hinaus ist für die Koordinierung des Infrastrukturausbaus ein integrierter Systementwicklungsplan für Strom, Gas und Wasserstoffnetze dringend erforderlich. Dafür notwendige Maßnahmen müssen unverzüglich ergriffen werden.“

Und der Energiewendeindex von McKinsey stellte im März 2023 fest:

*„Die historisch stabile Stromversorgung in Deutschland gerät unter Spannung: Die verfügbare Leistung zu **Spitzenlastzeiten** sinkt durch den Plan, aus Kernkraft und aus allen fossilen Energien auszusteigen. [...] Und dies bei insgesamt steigender Spitzenlast [...]. Damit droht eine Stromlücke von bis zu 30 GW im Jahr 2030 – dies entspricht umgerechnet etwa 30 thermischen Großkraftwerken. Hebel auf der Angebotsseite wie der massive Ausbau von Erneuerbaren reichen allein nicht aus, falls nicht zusätzlich noch neue Großkraftwerke gebaut werden und der temporäre Weiterbetrieb von Kohlekraftwerken erwogen werden.“*

Selbst wenn sich die sehr ambitionierten Pläne zum Ausbau von Solar- und Windkraft umsetzen ließen, könnte Deutschland zukünftig auf den Import von Atom- und Kohlestrom aus Nachbarländern angewiesen sein, wenn die Kohlekraftwerke abgeschaltet werden.

- 5 **3. Erläutern Sie anhand Ihrer Antwort aus Aufgabe 2, warum die Ergebnisse falsch begründet sind, dass Elektroautos heute nach einer bestimmten Anzahl gefahrener Kilometer umweltfreundlicher seien als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.**

- 10 Die Ergebnisse beruhen auf Berechnungen, die die Umweltbelastungen von Produktion und Nutzung des Elektroautos anhand des durchschnittlichen Strommixes ermitteln. Dies ist eine falsche Vorgehensweise. Grundlage der Berechnungen müsste die Stromerzeugungsart sein, die *zusätzlich* benötigten Strom erzeugt.

4. Sammeln Sie mögliche Gründe für die Umetikettierung von Strom und beurteilen Sie dieses Verfahren.

- 15 Energieversorger, die Strom aus Kohle- oder Kernkraftwerken einkaufen oder solchen Strom produzieren, können diesen Strom als „umweltfreundliches“ Produkt (Ökostrom) verkaufen. Als Ökostromanbieter können sie ein neues Marktsegment erschließen, sich ein gutes Image verschaffen und in manchen Fällen auch mehr Geld verdienen. Die norwegischen Stromversorger hingegen können zweimal Geld verdienen: Zum einen verkaufen sie für ihren Strom das Ökozertifikat, zum anderen verkaufen sie anderweitig den Strom selbst.

Beurteilung des Verfahrens: Individuelle Lösung.

Quelle für zitierten Text: Agora Energiewende, Prognos, Consentec: *Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann*. Version 1.2 von Februar 2023.

Spitzenlastzeiten

Zeiten, zu denen der Strombedarf am höchsten ist.

(Definition ist nicht Teil des zitierten Textes.)

Quelle für zitierten Text: McKinsey & Company: *Energiewendeindex von McKinsey: Versorgungssicherheit unter Spannung*. Pressemitteilung vom 6. März 2023.

**Zusatzinformation für am Detail Interessierte:
Umweltschonendes Aufladen von Elektroautos**

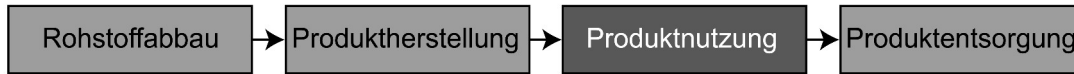
25 Letztlich gibt es heutzutage drei Möglichkeiten, die Batterie von Elektroautos um-
weltschonend aufzuladen:

1. Im Hochsommer bei wolkenfreiem Himmel tagsüber, wenn Solarzellen in der Lage sind, den kompletten Strombedarf des Landes zu decken.
2. Bei starkem Wind, wenn die Windkraftanlagen des Landes in der Lage sind,
30 den kompletten Strombedarf zu decken. Ist der Wind allerdings sehr stark, müs-
sen die Windkraftanlagen abgestellt werden, um Schäden zu vermeiden.
3. Durch eine eigene Solar- oder Windenergieanlage, die extra für das Laden des
Elektroautos gebaut wurde. Im Prinzip ließe sich auch ein Solarpanel auf das
Elektroauto montieren; allerdings ist die Stromausbeute zu gering für längere
35 Fahrten.

Wäre die Solar- oder Windenergieanlage auch gebaut worden, wenn man das Elek-
troauto nicht gekauft hätte, würde das Aufladen des Elektroautos dazu führen: Der
erzeugte Solar- oder Windstrom wird anderen Nutzungszwecken entzogen, es
muss folglich eine größere Menge an umweltschädlicherem Strom erzeugt werden.

40 Ausnahme: Das Wetter ist so gut, dass die Solarzellen bzw. die Windkraftanlagen
des Landes den kompletten Strombedarf decken können.

Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3



Veränderte Autonutzung

Die Betrachtungen zur Umweltwirkung von Elektroautos beschränken sich fast immer auf rein technische Fragen. Im Ergebnis wird angegeben, wie viele Kilometer ein Elektroauto vorgeblich fahren muss, bis es bei weiterer Nutzung im ökologischen Vorteil ist gegenüber einem Auto mit Verbrennungsmotor. Wie Elektroautos in der Praxis jedoch wirklich genutzt werden, bleibt außen vor. Das führt zu verzerrten Ergebnissen.

Beispielsweise werden Elektroautos aufgrund ihrer Nachteile in der Praxis teils als Zweitwagen gekauft und genutzt – zusätzlich zu einem herkömmlichen Auto. Das kann dazu führen, dass sich die Zahl der Autos insgesamt erhöht.

Ein weiterer Effekt spielt eine Rolle: Im Bewusstsein, mit dem Elektroauto umweltfreundlich unterwegs zu sein und dabei Gutes zu tun, steigt die Bereitschaft, das Auto zu nutzen – statt Bus, Zug oder Fahrrad zu nehmen. Mit der vermehrten Nutzung steigen die Umweltbelastungen. So fand eine Studie in Norwegen heraus: BesitzerInnen von Elektroautos nutzten auf dem Weg zur Arbeit und zurück deutlich seltener öffentliche Verkehrsmittel als zu den Zeiten, als sie noch kein Elektroauto besaßen: Fahren vor dem Kauf eines Elektroautos 23 % der Personen mit dem öffentlichen (Nah-)Verkehr zur Arbeit, waren es nach dem Kauf nur noch 4 %.

„Einsparungen durch effizientere Technologien können [...] zu zusätzlichem Konsum führen (**mentaler Rebound-Effekt**). Eine japanische Studie ergab, dass Autofahrer, die sich nach eigener Wahrnehmung ein ökologisches Auto zugelegt haben, im ersten Jahr nach dessen Kauf gut 1,6 mal mehr Kilometer gefahren sind als mit ihrem vorherigen unökologischen Auto. Ein Teil der möglichen Einsparungen wird somit durch einen höheren Verbrauch kompensiert. Ebenso können Haushalte Energiesparlampen länger brennen lassen als konventionelle Glühbirnen und dennoch glauben, etwas für die Umwelt zu leisten.“

Quelle:
Wikipedia Deutschland:
Moralische Lizenzierung.
https://de.wikipedia.org/wiki/Moralische_Lizenzierung, abgerufen am 28.7.2023. Nach Erik Poppe: *Der Rebound Effekt*. Freie Universität Berlin 2013, S. 39–41.

Nur Ökobilanzen anzuschauen ist nicht ausreichend, um die Umweltwirkungen von Produkten – in unserem Fall des Elektroautos – beurteilen zu können.

Aufgaben



Beantworten Sie die folgenden Fragen schriftlich.



1. Erläutern Sie: Welche Auswirkungen auf die Gesamtzahl der Autos eines Landes und die Umwelt kann die Tatsache haben, dass Elektroautos nur in beschränktem Maße herkömmliche Autos ersetzen können?
2. Erläutern Sie den mentalen Rebound-Effekt am Beispiel des Elektroautos.

Einzelnachweise

Nutzung von Elektrofahrzeugen in Norwegen

Figenbaum, Erik; Kolbenstvedt, Marika: *Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners*. Institute of Transport Economics. Oslo 2016, S. 41-42. www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43161

Holtmark, Bjart; Skonhoft, Anders: *The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries?* In: *environmental science & policy* 42 (2014), S. 165-166.
www.svt.ntnu.no/iso/Anders.Skonhoft/Environmental%20Science%20and%20Policy%20814.pdf

Lösungen zu M6: Umweltwirkungen der Elektroautonutzung Teil 3

1. Welche Auswirkungen auf die Gesamtzahl der Autos eines Landes und die Umwelt kann die Tatsache haben, dass Elektroautos nur in beschränktem Maße herkömmliche Autos ersetzen können?

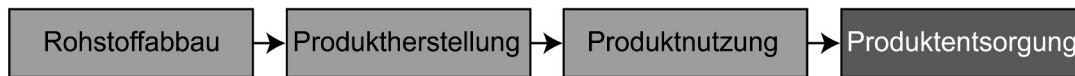
- Aufgrund ihrer teils noch eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten werden Elektroautos teils als zusätzliche Fahrzeuge gekauft. Auf diese Weise kann sich die Zahl der Autos im Land erhöhen.
- Zusätzliche Autos bedeutet zusätzliche ökologische Belastungen bei der Produktion und vorgelagert beim Abbau der Rohstoffe.
- Bei der Produktnutzung dürften sich kaum zusätzliche Belastungen ergeben, vorausgesetzt, es wird nicht mehr gefahren als zuvor.
- Zusätzliche Autos führen zu zusätzlichen Umweltbelastungen bei der Entsorgung.

2. Erläutern Sie den mentalen Rebound-Effekt am Beispiel des Elektroautos.

- Eine Person, die ein Elektroauto nutzt, kann der Meinung sein, sich umweltfreundlich zu verhalten. In der Folge steigt die Bereitschaft, das Auto öfters zu nutzen als sie es mit einem herkömmlichen Auto tat.
- Zumindest ein Teil des möglichen Umweltvorteils des Elektroautos wird durch eine vermehrte Nutzung ausgeglichen.

Über die Materialien **M4** bis **M6** und **Lö4** bis **Lö6** haben Sie sich ausführlich mit den Umweltwirkungen der Elektroautonutzung beschäftigt – entsprechend des Themas: Sind Elektroautos umweltfreundlich? Dabei sollte nicht aus dem Blick geraten, dass auch die Nutzung herkömmlicher Autos mit großen Umweltbelastungen verbunden ist.

Umweltwirkungen der Elektroautoentsorgung und Gesamtbetrachtung



Auch ein Elektroauto muss eines Tages entsorgt werden. Dabei wird zwangsläufig die Umwelt belastet und es entstehen Abfälle. Von besonderer Bedeutung ist in dieser letzten Produktphase des Elektroautos die Batterie. Zum einen wegen ihrer chemischen Zusammensetzung; sie enthält umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe. Zum anderen wegen ihres hohen Gewichts: 200 bis 600 Kilogramm Batterie pro Auto, je nach Größe des Wagens, der Fahrzeugreichweite und der elektrischen Leistung des Motors.

Die Batterie verliert nach und nach ihre Leistungsfähigkeit, wenn sie oft aufgeladen wird. Wer sein Elektroauto häufig nutzt, muss eventuell die Batterie nach einigen Jahren wechseln – auch wenn sich in der Praxis in vielen Fällen die Lebensdauer als länger erweist als anfangs befürchtet. Ziel ist es, die Batterien anschließend für andere Zwecke weiter zu nutzen. Sie sollen in Haushalten oder speziellen Anlagen Strom zwischenspeichern, der aus Solar- und Windenergie erzeugt wurde.

„Erneuerbare Kraftwerke

Die größte Schwäche der erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne ist, dass sie nicht kontinuierlich verfügbar sind. Die Kombination aus Batterien und erneuerbaren Energien ändert jedoch alles. Sobald erneuerbare Energien in Verbindung mit Batterien eingesetzt werden, steht der er-

zeugte Strom dann zur Verfügung, wenn ein Bedarf besteht. Batterien ermöglichen die Speicherung der überschüssigen Energie aus erneuerbaren Energien, sodass sie später bei Bedarf ins Netz eingespeist werden kann.“

Zitiert aus Reid, Gerard; Julve, Javier: *Second Life-Batterien als flexible Speicher für Erneuerbare Energien*. Kurzstudie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e.V. und der Hannover Messe. Berlin 2016, S. 4.

Für diese Anwendung reicht die verminderte Leistungsfähigkeit alter Batterien aus Elektroautos noch aus. Ob das Konzept der Stromspeicherung in alten Autobatterien in der Praxis erfolgreich umgesetzt werden kann, muss sich noch zeigen. Erst, wenn die Leistungsfähigkeit der Batterien soweit abgenommen hat, dass sie auch für diesen Einsatzzweck nicht mehr geeignet sind, sollen die Batterien rezykliert werden – unter Rückgewinnung von Rohstoffen.

Aufgaben



1. Erläutern Sie, inwieweit die Umweltbelastungen der Batterieentsorgung dem Elektroauto zugerechnet werden sollte, wenn die Batterie nach der Nutzung im Auto als Stromspeicher genutzt wird.
2. Fassen Sie abschließend in Stichworten zusammen, ob Elektroautos aus Ihrer Sicht umweltfreundlich sind. Bedenken Sie dabei alle vier Produktlebensphasen und den Vergleich zu herkömmlichen Autos.
3. Halten Sie Ihre Ergebnisse übersichtlich auf einem Plakat fest.

→ Ergebnissicherung

Material	■ Plakate der Schülerinnen und Schüler.
Plenum	Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1 aus M7: Inwieweit sollten die Umweltbelastungen der Batterieentsorgung dem Elektroauto zugerechnet werden, wenn die Batterie nach der Nutzung im Auto als Stromspeicher genutzt wird? ■ Die Umweltbelastungen sollten anteilig der Batterienutzung im Auto und der anschließenden stationären Stromspeicherung angerechnet werden. ■ Maßstab könnte dabei z.B. die Zahl der Jahre sein, die die Batterien durchschnittlich in jedem der beiden Einsatzfelder verwendet wird. ■ Um zu einem realistischen Ansatz zu kommen, ließen sich die einzelnen Jahre noch mit der jeweiligen Leistungsfähigkeit der Batterie multiplizieren (Bsp.: erstes Jahr des Einsatzes = 1 (Jahr) x 100 % = 1; nach 10 Jahren: 1 (Jahr) x 70 % = 0,7).
Plenum	■ Schülerinnen und Schüler hängen ihre Plakate an die Tafel bzw. an die Wände. ■ Sie vergleichen ihre Plakate mit der Museumsmethode. ■ Alternative: Schülerinnen und Schüler präsentieren ihre Ergebnisse der Klasse in einem Vortrag. ■ Sie achten auf unterschiedliche Ergebnisse und diskutieren diese miteinander.

Phase

1 Einstieg

2 Erarbeitung

3 Ergebnissicherung

4 Abschluss

➔ Abschließende Diskussion

Material	■ Plakat vom Anfang der Modulbearbeitung (L1) mit den Argumenten für und gegen die Umweltfreundlichkeit von Elektroautos.
Plenum	■ Abschließende Diskussion. Mögliche Aspekte: siehe Themenblatt auf folgender Seite.

Phase

1 Einstieg

2 Erarbeitung

3 Ergebnis-
sicherung

4 Abschluss

Mögliche Themen der Abschlussdiskussion

Was bedeutet eigentlich der Begriff „umweltfreundlich“?

- Was bedeutet Ihrer Meinung nach der Begriff „umweltfreundlich“?
 - Kann eine Schädigung der Umwelt umweltfreundlich sein?
 - Die Definition des Begriffes umweltfreundlich ist im Duden sehr weich gehalten:
„die natürliche Umwelt nicht [übermäßig] beeinträchtigend“
 - Ist es umweltfreundlich, wenn die Umwelt durch eine Maßnahme geringer geschädigt wird als zuvor? Oder ist die Bezeichnung „weniger umweltschädlich“ passender?
 - Wie definieren Sie nun den Begriff „umweltfreundlich“?
 - Mögliche Lösung:
 - Umweltfreundlich ist es, durch eine Handlung die Umwelt nicht zu schädigen oder sie in ihren Abläufen zu unterstützen (z.B. durch Nistkästen für Vögel oder der Renaturierung von Flüssen).
 - Hingegen ist es nicht umweltfreundlich, die Umwelt (massiv) zu schädigen, dies aber in geringerer Weise als zuvor zu tun.
-

Mögliche Gesamterkenntnis zur Umweltfreundlichkeit von Elektroautos – auch im Vergleich zu herkömmlichen Autos

- Elektroautos schädigen die Umwelt über alle Lebensphasen hinweg deutlich.
 - Heute sind Elektroautos nicht umweltfreundlich.
 - Diese Eigenschaft teilen sie mit Autos, die mit Verbrennungsmotoren ausgerüstet sind.
 - Ob die Umweltschädigungen durch Elektroautos geringer ausfallen als bei Autos mit Verbrennungsmotor ist heute fraglich bzw. eine Frage der ökobilanziellen Betrachtung.
 - Zwar kann die Elektromobilität in Ballungsräumen zu niedrigeren Schadstoffbelastungen und geringerem Lärm führen im Vergleich zum heutigen Fahrzeugbestand.
 - Die üblichen Betrachtungen zur Umweltfreundlichkeit von Elektroautos greifen jedoch zu kurz und sind nicht gesamtheitlich.
 - So wird meist fälschlicherweise der Strommix den Betrachtungen zugrunde gelegt anstatt die Stromart, mit der zusätzlich nachgefragter Strom erzeugt wird.
 - Überdies bleibt das geänderte Nutzungsverhalten von Elektroautobesitzern ausgeblendet (eventuell mehr Fahrten, weniger Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs).
 - Zudem bleibt übersehen, dass Elektroautos teils keine Autos mit Verbrennungsmotor ersetzen, und somit die Zahl der Fahrzeuge erhöhen.
 - Grundsätzlich ist die Produktion von Gütern mit Umweltbelastungen verbunden.
-

- Vereinfacht lässt sich feststellen: Je mehr Materie verarbeitet wird, desto mehr Energie wird in der Produktion benötigt. (Bei Autos befinden wir uns im Bereich von Tonnen: Fahrzeuggewicht; notwendiger Rohstoffbedarf).
- Das hohe Gewicht von Autos – ganz gleich ob mit Verbrennungs- oder Elektromotor ausgestattet – führt zu einem hohen Energiebedarf bei der Autonutzung.
- Solange nichterneuerbare Energien in hohem Maße genutzt werden, hat das starke negative ökologische Folgen.
- Auch wenn Elektroautos nicht von vorne herein als umweltfreundlich gelten können, sind sie dennoch eine Alternative zu herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotor. Schließlich steht außer Zweifel: Herkömmliche Autos schädigen die Umwelt deutlich, und Elektroautos besitzen einige ökologische Vorteile.
- Falls in Zukunft der Strom für die Produktion und die Nutzung von Elektroautos noch stärker aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird, wird sich die Umweltbilanz von Elektroautos verbessern.

Warum wird das Elektroauto dennoch politisch und inzwischen teils auch von der Automobilindustrie so stark forciert?

- Gewinn an Lebensqualität in Städten durch Elektroautos (Luftqualität, Lärm).
- Vorgeblich vergleichsweise einfache Lösung, um die Verkehrsprobleme in den Griff zu bekommen:
Änderung des Autoantriebs; ansonsten bleibt das Verkehrssystem weitgehend wie es ist: autozentriert. 1 bis 2,5 Tonnen Material müssen bewegt werden, um 1 bis 2 Personen zu transportieren.
- Interesse der Politik:
 - einfache Lösung.
- Interesse der Automobilindustrie:
 - Autohersteller müssen für ihr Fahrzeugangebot in der Europäischen Union CO₂-Grenzwerte einhalten. Die durchschnittlichen Emissionen sämtlicher neu zugelassener Fahrzeuge eines Autoherstellers dürfen einen festgelegten Grenzwert in Gramm CO₂ pro Kilometer nicht übersteigen. Für Elektroautos darf dabei eine CO₂-Emission von 0 angesetzt werden.
 - Lösung, in der sie im Mittelpunkt steht.
 - Beibehaltung der starken Rolle des automobilen Individualverkehrs.
- Echte oder vorgebliche Hoffnung, dass die Umweltbilanz des Elektroautos sich in Zukunft verbessert nach dem Umbau des Stromsystems auf regenerative Erzeugung:
 - Fahren mit echtem Ökostrom
 - Produktion der Autos mit echtem Ökostrom
- Kein vernetztes Denken, z.B.

- Elektroautos unreflektiert als umweltfreundlich zu bezeichnen.
- Nebenwirkungen von Elektroautos bei den ökologischen Betrachtungen außer Acht zu lassen (z.B. zusätzliche Fahrzeuge durch Elektroautos, zusätzlicher Verkehr).
- Einfache Lösungen zu suchen anstatt gesamtheitlich zu analysieren und an den eigentlichen Problemursachen anzusetzen.
- Sehr optimistische Erwartungen für den Ausbau der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern ohne praktische Hindernisse zu beachten und bereit zu sein, umfassende strukturelle Änderungen durchzusetzen.
- Enger Blickwinkel (Auto) statt Verkehrssystem mit seinen vielen Vernetzungen von Wirkungen und Problemen.

Ist es realistisch, dass Elektroautos zukünftig ausschließlich mit Energie produziert und betrieben werden können, die aus regenerativen Quellen stammt?

- 2024 wurde in Deutschland 57 % des Stroms aus regenerativen Quellen erzeugt. Zu 100 % fehlt also noch viel. In Österreich und der Schweiz sieht das deutlich besser aus. Dort werden aber Elektroautos nicht in großem Stil produziert.
 - Zusätzliche Schwierigkeit dabei: sonnen- und windarme Phasen zu überbrücken. Speichertechnologie notwendig.
 - Je mehr Elektroautos in Betrieb gehen, desto anspruchsvoller wird das Ziel; der Grund: deutlich zunehmender Stromverbrauch.
 - Der Stromverbrauch stellt nur einen Teil des Energieverbrauchs dar.
 - Verkehr und Heizung sind weitere Bereiche mit hohem Energieverbrauch.
 - Im Jahr 2024 wurde der gesamte Energieverbrauch des Landes nur zu 20 % aus regenerativen Quellen gedeckt.
- Von einer Umwelt schonenden Energieerzeugung sind wir noch weit entfernt.
- Der reine Blick auf Strom ist nicht ausreichend; der gesamte Energieverbrauch ist relevant.
- Massive Einsparung von Energie ist notwendig.

Ist Energie aus erneuerbaren Energieträgern immer umweltfreundlich und positiv?

Auch die Erzeugung regenerativer Energie kann negative Wirkungen auf die Umwelt haben. Im Einzelfall ist die spezifische Situation zu beachten.

- **Windenergie**
Schallbelastungen von Menschen, störend für Vögel.
- **Wasserkraft (Flusskraftwerke und Kraftwerke an Stauseen)**
Unterbrechung der Durchgängigkeit der Fließgewässer z.B. für Fische, Veränderung des Lebensraumes unterhalb des Kraftwerkes in Folge verringerter Fließgeschwindigkeit; Schädigung von Fischen und anderen Lebewesen z.B. durch die Turbine.
- Bei **Kraftwerken an Stauseen** kommt zusätzlich der Flächenverbrauch hinzu. Zudem emittieren Stauseen nach der Flutung über längere Zeit Methan, das bei der Verrottung von

Pflanzenteilen entsteht. Methan ist ein Klimagas, das mit hoher Wahrscheinlichkeit den Klimawandel stark antreibt.

■ **Biogas zur Verstromung**

Energiepflanzen werden in Monokultur intensiv angebaut. Das erfordert einen hohen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie Kunstdünger (Boden- und Wasserverunreinigung) und laugt den Boden aus. Zudem wird Ackerland der Nahrungserzeugung entzogen.

Wie könnte ein zukunftsfähiges Verkehrssystem aussehen?

Die Probleme, die der motorisierte Individualverkehr mit sich bringt, lassen sich nicht dadurch lösen, dass in erster Linie lediglich die Motorart des Autos geändert wird (Elektromotor statt Verbrennungsmotor). Es braucht weitergehende Änderungen.

- Kleine und leichte Elektroautos statt die heutigen schweren Autos mit Elektromotor auszurüsten.
- Ausbau von Autoleihsystemen wie Carsharing: Benötigt ein Elektroautobesitzer ein Auto für eine weite Fahrt, leiht er sich ein für Fernfahrten geeignetes Auto (eventuell ist dieses mit energie- und schadstoffoptimierten Verbrennungsmotoren ausgestattet).
- Massiver Ausbau der Fahrradinfrastruktur in Städten und zwischen Städten (Fahrradauto-bahnen).
- Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs bis hin zu Ruftaxis.
- Die Möglichkeiten, häufig nur mit ein bis zwei Personen gefüllte Autos durch Mitfahrgelegenheiten zu füllen, systematisch nutzen (z.B. durch Apps), um die Zahl an Fahrten und Autos zu verringern.
- Massiver Ausbau des Bahnnetzes.
- Räumliche Trennung von Leben und Arbeit wieder verringern („Stadt der kurzen Wege“).
- Verkehrsaufkommen verringern, d.h. Mobilität und Zahl der Autos verringern.

Welche Konsequenzen kann man als Einzelperson oder Familie aus der Tatsache ziehen, dass es keine umweltfreundliche automobilen Mobilität gibt?

Individuelle Antworten

Wie können wir mit falschen und widersprüchlichen Aussagen umgehen?

Zum Thema Elektroauto konnten wir sehen, dass von verschiedenen Seiten (Politik und Wirtschaft) mit widersprüchlichen und fragwürdigen Aussagen argumentiert wird – zur vorgeblichen Umweltfreundlichkeit des Elektroautos.

Auch bei anderen Themen arbeiten interessensgeleitete Gruppen teils mit falschen, widersprüchlichen und einseitigen Aussagen.

Wie können wir damit umgehen? Aussagen hinterfragen:

- Ist eine Aussage mit ihren dahinter stehenden Einzelargumenten plausibel und glaubwürdig?
 - Ist die Aussage begründet oder unbegründet getätigt worden?
 - Falls eine Aussage begründet wurde:
 - Ist die Begründung nachvollziehbar?
 - Sind die genannten Gründe durch Studien oder Expertenaussagen belegt?
 - Liegt der Aussage eine isolierte Betrachtung zugrunde oder wurde gesamtheitlich gedacht?
 - Welches Interesse könnte eine Person oder Gruppe mit der getätigten Aussage verfolgen?
- Bei Unklarheiten: nachfragen!

Einzelnachweise

Duden-Definition von *umweltfreundlich*

www.duden.de/rechtschreibung/umweltfreundlich, abgerufen am 22.1.2018.

CO₂-Grenzwerte innerhalb der Europäischen Union für neu zugelassene Fahrzeuge

Verband der Automobilindustrie: *CO₂-Regulierung bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen*. www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/co2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nfz/co2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nutzfahrzeugen.html, abgerufen am 22.1.2018.

VERORDNUNG (EG) Nr. 443/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0001:0015:DE:PDF>

Anteile erneuerbarer Energien am Stromverbrauch

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: *Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2024 (in TWh) Deutschland insgesamt*. 20.2.2025. <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2025/02/Strerz-Abgabe-2025-02.pdf> (abgerufen am 28.2.2025).

Anteile erneuerbarer Energien am Energieverbrauch

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: *Erneuerbare decken ein Fünftel des Energieverbrauchs*. 18.12.2024.
<https://ag-energiebilanzen.de/erneuerbare-decken-ein-fuenftel-des-energieverbrauchs/> (abgerufen am 28.2.2025).

Umweltwirkungen von Wasserkraftwerken

Umweltbundesamt: *Energie aus Wasserkraft*. Artikel vom 27.11.2014.

www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/energie-aus-wasserkraft#textpart-1, abgerufen am 18.1.2018.

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband: *Umweltauswirkungen Wasserkraft*.

www.swv.ch/Fachinformationen/Wasserkraft-Schweiz/Umweltauswirkungen, abgerufen am 18.1.2018.

Bild der Wissenschaft: *Das schmutzige Geheimnis der Wasserkraft*. Artikel vom 24.2.2005.

www.wissenschaft.de/home/-/journal_content/56/12054/1039741/, abgerufen am 18.1.2018.

Junge Menschen und die Gesellschaft durch vernetztes Denken stärken!

Die Bildungsplattform *Wandel vernetzt denken* stellt Lehrkräften, Schulen und anderen Interessierten Unterrichtsmaterial kostenlos zur Verfügung, das den gesellschaftlichen und globalen Wandel in Zusammenhängen vermittelt und vernetztes Denken fördert.

Damit junge Menschen diesen Wandel verstehen, sich auf ihn einlassen und ihn konstruktiv-kritisch begleiten können – und sie der Komplexität in ihrem eigenen Leben gewachsen sind.

Inhaltlich unabhängig und gemeinwohlorientiert, bieten wir mit unserer Webplattform fundiertes, Kompetenzen förderndes und handlungsorientiertes Unterrichtsmaterial zum kostenfreien Download. Getragen wird die Bildungsplattform durch die Stiftung Vernetzt denken in Bern.

wandelvernetztdenken.ch