

VERKEHRSWESEN DER ZUKUNFT

Wie sieht nachhaltige Fortbewegung aus?

1. ~
2. ~

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabe: Einstieg	2
2. Aufgabe: Hauptantriebsquelle des Verkehrssystems	2
3. Aufgabe: Gruppenarbeit	2
3.1 Material Gruppe 1: Biokraftstoffe	3
3.1.1 Aufgabenstellung	3
3.1.2 Infotext	3
3.2 Material Gruppe 2: E-Autos	4
3.2.1 Aufgabenstellung	4
3.2.2 M1	4
3.2.3 M2: Mineralien für Batterien	5
3.2.4 M3: Biodiversität und Rohstoffabbau	5
3.2.5 M3 Graphik: Mienendichte	6
3.2.6 M4: CO ₂ -Emissionen	7
3.3 Material Gruppe 3: Elektrifizierung von Gütern	7
3.3.1 Aufgabenstellung	7
3.3.2 M1: Elektrifizierung des Güterverkehrs	7
3.3.3 M2: Dieselelektrische Züge vs. 100%-elektrische Züge	8
3.3.4 M3: Auswirkungen von Mienen	9
3.4 Material Gruppe 4: Elektrifizierung von LKWs, Flugzeugen und anderen schweren Fahrzeugen	12
3.4.1 Aufgabenstellung	12
3.4.2 M1	12
3.4.3 M2	12
3.4.4 M3: Beispiel	13
3.4.5 M4: Technische Probleme mit Batterien	13
4. Aufgabe: Szenarien	14
5. Aufgabe: Möglichkeit C	16
6. Lösung Aufgabe 2	17

1. Aufgabe: Einstieg

Wenn ihr den Begriff "nachhaltige Mobilität" hört, an was denkt ihr dann? Welche Arten der Fortbewegung und welche Fahrzeuge kommen euch in den Sinn? Zeichnet eine Mindmap oder ein Bild von euren Assoziationen.

i Quelle: Grundidee basiert auf: Luis González Reyes, 29.09.2021, <https://tiempodeactuar.es/blog/como-nos-moveremos-en-el-futuro-cercano/>



2. Aufgabe: Hauptantriebsquelle des Verkehrssystems

Überlegt gemeinsam: Was ist die Hauptantriebsquelle unseres Verkehrssystems? Welche negativen Umweltfolgen gibt es dadurch? Ihr könnt auch eine kurze Internet-Recherche durchführen.



3. Aufgabe: Gruppenarbeit

Unser jetziges Verkehrssystem basiert auf fossilen Brennstoffen. Sie ermöglichen es uns, Produkte und auch uns selbst kreuz und quer um die Welt zu befördern. Der Grund ist, dass Autos, Motorräder, Busse, Züge, Schiffe und Flugzeuge Treibstoffe nutzen, die aus Erdöl hergestellt sind. Die meisten Produkte, die wir benutzen, bestehen aus Einzelteilen, die in vielen verschiedenen Ländern produziert wurden. Um sie an einen Ort zu bringen, an dem sie zusammengesetzt werden, braucht es Containerschiffe, LKWs, Flugzeuge und Züge. Und auch, um die Produkte danach zu uns in den Laden zu bringen. Und auch wir nutzen fossile Brennstoffe, wenn wir mit dem Bus zur Schule fahren oder in ein Flugzeug steigen.

Es gibt drei Möglichkeiten, um dies zu ändern. Wir beschäftigen uns erstmal mit Möglichkeit A und B.

Bildet 5 Gruppen. Gruppe 1 arbeitet zu Möglichkeit A, die restlichen Gruppen arbeiten zu verschiedenen Unterthemen der Möglichkeit B. Jede Gruppe hat bestimmte Fragen, auf die Antworten gefunden werden sollten. Nach der Arbeitsphase stellt ihr euch gegenseitig eure Ergebnisse vor und vergleicht sie miteinander.

3.1 Material Gruppe 1: Biokraftstoffe

3.1.1 Aufgabenstellung

- a) Überlegt: Was würde passieren, wenn wir das Benzin und den Diesel, der momentan unser Verkehrssystem antreibt, durch Bio-Treibstoffe ersetzen würden? Hinweis: Bio-Treibstoffe sind Treibstoffe, die aus biologischem Material wie z.B. Mais oder Raps hergestellt wurden.
- b) Recherchiert:
 - Was sind die ökologischen Folgen? (Böden, Biodiversität, Veränderung von Landschaften)
 - Was sind die sozialen Folgen? (Lebensmittel)

3.1.2 Infotext

Biokraftstoffe haben das Problem, dass sehr viele Landflächen benötigt werden, um sie anzubauen, da sie eine sehr niedrige Energieeffizienz haben. Dies drückt sich in einem sehr niedrigen EROI (= Energy return on energy invested) aus, d.h. die Energie, die man am Schluss durch das Verbrennen von „pflanzlichen Treibstoffen“ bekommt, ist kaum größer als die Energie, die man vorher in den Anbau und die Verarbeitung der Pflanzen gesteckt hat. Die Folge wäre, dass diese vielen Landflächen nicht mehr zum Anbau von Essen genutzt werden kann. Dadurch würden die Nahrungsmittelpreise steigen und noch mehr Menschen würden Hunger leiden. Will man das vermeiden, müsste man Flächen, die bis jetzt Wälder, Moorgebiete oder Weideland sind, zu Ackerland umwandeln. Die Folgen davon sind negativ: Co2-

Emissionen würden freigesetzt werden, und Biodiversitätsverluste nähmen zu (d.h. Tiere, Pflanzen und andere Lebewesen sterben aus). Zudem werden Biotreibstoffe aus Monokulturen (z.B. Soja, Raps, Mais) hergestellt, die auf Dauer die Bodenfruchtbarkeit zerstören.

📌 Hintergrundwissen / Weiterführende Texte

Giampietro, M., & Mayumi, K. (2009). *The biofuel delusion: The fallacy of large scale agro-biofuels production*. Routledge.

Ripa, M., Cadillo-Benalcazar, J. J., & Giampietro, M. (2021). Cutting through the biofuel confusion: A conceptual framework to check the feasibility, viability and desirability of biofuels. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100642.

3.2 Material Gruppe 2: E-Autos

3.2.1 Aufgabenstellung

Nutzt die folgenden Materialien, um folgende Fragen zu beantworten. Ihr könnt zu zusätzlich dazu auch noch selbst recherchieren.

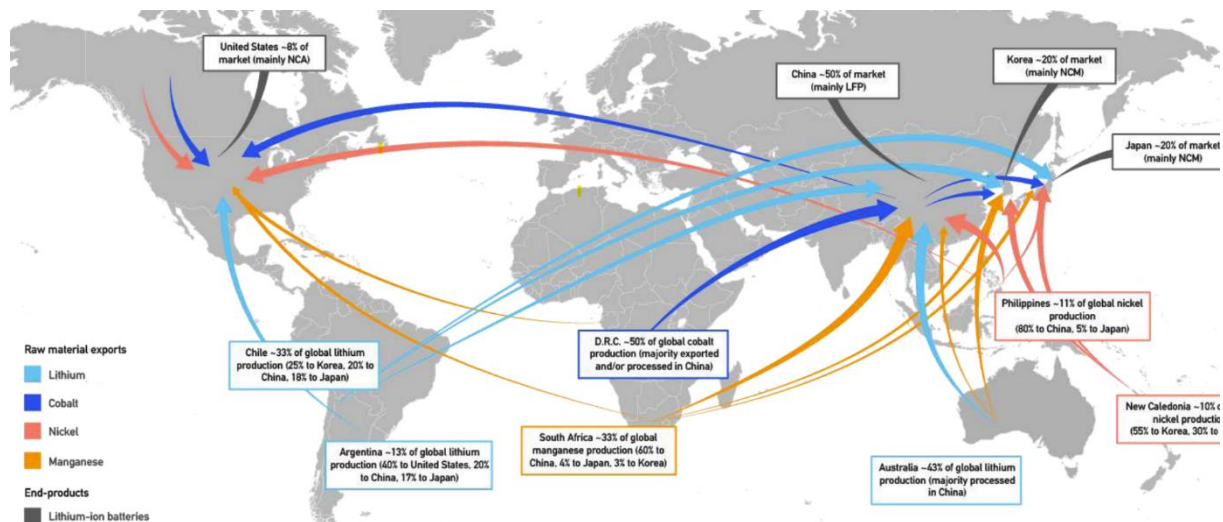
- 1.) Was sind die Nachteile von E-Autos? Nennt mindestens 4 Nachteile, die erklären, warum E-Autos nicht nachhaltig sind.
- 2.) Ist es realistisch, dass in Zukunft jeder Mensch auf der Erde ein E-Auto fahren wird?

3.2.2 M1

Damit die Elektrifizierung des Verkehrs aus Nachhaltigkeitsperspektive sinnvoll ist, muss der gesamte Strom, der die elektrischen Fahrzeuge antreibt, aus „erneuerbaren“ Quellen stammen. Dies ist momentan nicht der Fall. Das liegt daran, dass die Elektrifizierung des Energiesystems die Gesellschaft vor große Herausforderungen (mehr dazu im Modul „Erneuerbare Energien“). Unter der Annahme, dass die Elektrifizierung trotzdem machbar ist, haben die elektrischen Fahrzeuge selbst ein paar Probleme.

3.2.3 M2: Mineralien für Batterien

Um Batterien für E-Autos herzustellen, benötigt man Materialien wie z.B. Lithium. Diese Mineralien kommen von weit her und der Abbau und Transport verursachen CO2-Emissionen.



- Quelle: Dominish, E., Florin, N., & Teske, S. (2019). Responsible minerals sourcing for renewable energy. Report prepared for Earthworks by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney., S.38, Screenshot https://41p14t2a856b1gs8ii2wv4k4wengine.netdnassl.com/assets/uploads/2019/04/MCEC_UTS_Report_lowres-1.pdf

3.2.4 M3: Biodiversität und Rohstoffabbau

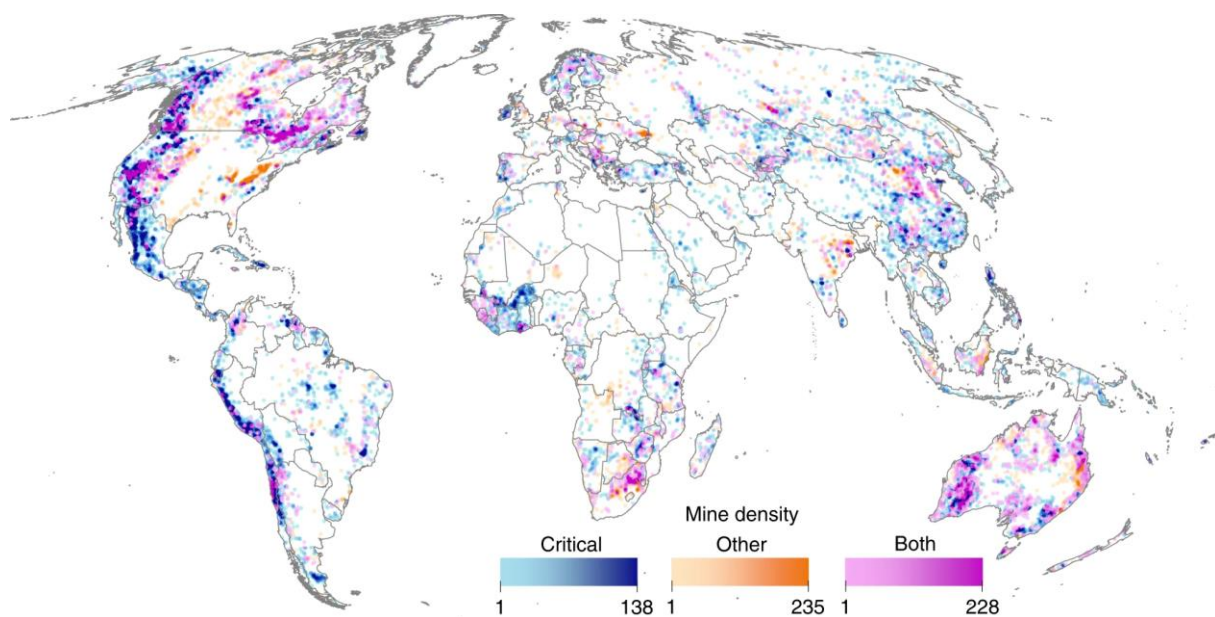
Die Erzeugung erneuerbarer Energien ist notwendig, um den Klimawandel aufzuhalten und den damit verbundenen Verlust an biologischer Vielfalt umzukehren. Die Entwicklung der erforderlichen Technologien und Infrastrukturen, um Batterien für elektrische Fahrzeuge herzustellen, wird jedoch zu einem Anstieg der Produktion vieler Metalle führen, was neue Gefahren für die biologische Vielfalt mit sich bringt.

Der Bergbau beeinflusst potenziell 49,9 Millionen km² der terrestrischen Landfläche der Erde (37 %, ohne Antarktis), wenn man davon ausgeht, dass die Auswirkungen 50 km weit von den Minenstandorten entfernt reichen. 8% dieser Minen überschneiden sich mit Schutzgebieten, 7% Prozent mit Schlüsselgebieten für die Biodiversität, und 16 % mit Wildnisgebieten. 82% dieser Minen sind für Materialien bestimmt, die für erneuerbare Energien und Elektrofahrzeuge benötigt werden (in blau und rosa).

- ❶ Quelle: Sonter, L. J., Dade, M. C., Watson, J. E., & Valenta, R. K. (2020). Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. *Nature communications*, 11(1), 1-6.

3.2.5 M3 Graphik: Mienendichte

Eine Weltkarte, die die Minendichte auf der Welt zeigt. In blau sind Minen sichtbar, in denen Materialien gewonnen werden, die für erneuerbare Energien genutzt werden. Minen für andere Materialien sind orange eingefärbt und Minen, in denen sowohl Materialien für erneuerbare Energien und andere Zwecke gewonnen werden, sind rosa. Je dunkler die Farbe, desto höher ist die Minendichte.



- ❶ Quelle: Sonter, L. J., Dade, M. C., Watson, J. E., & Valenta, R. K. (2020). Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. *Nature communications*, 11(1), 1-6.

3.2.6 M4: CO2-Emissionen

„Während seiner Lebensdauer reduziert ein Elektroauto die CO2-Emissionen im Vergleich zu einem Benzinauto lediglich um 17-30 %. Eine Fahrzeugflotte von mehr als 1,2 Milliarden Fahrzeugen in der Welt würde Gesamtemissionen bedeuten, die die globalen Emissionen im Jahr 2018 übersteigen würden. Hinzu kommen die Emissionen, die beim Bau des Tankstellennetzes, der Stromnetze, der Stromerzeugung usw. entstehen.“

- ❶ Quelle: Prieto, P. (2019): Consideraciones sobre el vehículo eléctrico y la infraestructura necesaria. 15/15\15

❶ Hintergrundwissen / Weiterführende Texte

Giampietro, M., & Mayumi, K. (2009). *The biofuel delusion: The fallacy of large scale agro-biofuels production*. Routledge.

Ripa, M., Cadillo-Benalcazar, J. J., & Giampietro, M. (2021). Cutting through the biofuel confusion: A conceptual framework to check the feasibility, viability and desirability of biofuels. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100642.

3.3 Material Gruppe 3: Elektrifizierung von Gütern

3.3.1 Aufgabenstellung

Lest die Materialien und fasst die Probleme mit der Elektrifizierung von Zügen in eigenen Worten zusammen.

3.3.2 M1: Elektrifizierung des Güterverkehrs

Die Elektrifizierung des Schienengüterverkehrssystems scheint unwahrscheinlich: Die derzeitige US-Flotte von 25.000 meist dieselelektrischen Lokomotiven würde so viel

Strom verbrauchen wie 55 Millionen Elektroautos. Die Elektrifizierung der Hauptstrecken (160.000 der 200.000 Meilen an Gleisen) würde so viel Energie benötigen, wie 240 Stromkraftwerke produzieren (wobei zu bedenken ist, dass die Stromlast der Bahn für ein Stromversorgungsunternehmen mit am schwierigsten zu bewältigen ist). Außerdem wäre ein nationales Netz erforderlich - das es noch nicht gibt - oder zumindest ein stark erweitertes Netz. Ein rein elektrisches Personenverkehrssystem ist ebenso unwahrscheinlich. Genau wie beim Güterverkehr wäre auch hier ein erweitertes Netz erforderlich. Personenzüge sind wegen des ständigen Anhaltens und Beschleunigens höchst ineffizient und extrem kostspielig. Die von Kalifornien geplante Hochgeschwindigkeitsstrecke, die den gesamten Bundesstaat durchqueren sollte, wurde ursprünglich mit 33 Milliarden Dollar veranschlagt, doch bis 2019 stieg der Preis auf 79 Milliarden Dollar. Die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten werden derzeit mit 228 Millionen Dollar beziffert.

- ❶ Quelle: Seibert, M. K., & Rees, W. E. (2021). Through the eye of a needle: an eco-heterodox perspective on the renewable energy transition. *Energies*, 14(15), 4508.

3.3.3 M2: Dieselelektrische Züge vs. 100%-elektrische Züge

Die Züge in den USA werden von dieselelektrischen Lokomotiven angetrieben, was seinen Grund hat: Anstatt Strom über Hunderte von Kilometern an Oberleitungen von einem weit entfernten Kraftwerk zu beziehen, haben dieselelektrische Lokomotiven ihre eigene Stromerzeugungsanlage an Bord - einen Dieselmotor mit 40 % Wirkungsgrad (Hoffrichter, USDOE). Der an Bord erzeugte Strom treibt Fahrmotoren an, die die Räder bewegen, ohne mechanische Verbindung zwischen Motor und Rädern, was wesentlich einfacher, billiger und effizienter als reine Elektrolokomotiven (James 2011; Smil 2013).

Elektrische Lokomotiven beziehen ihren Strom aus ineffizienten Kraftwerken mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 32,8 %, plus weitere 6 % Verlust über die Übertragungs- und Verteilungsleitungen. Bis die Energie die Räder des Zuges erreicht, sind bereits 75 % der Energie verloren gegangen, so dass der Gesamtwirkungsgrad

von Elektrolokomotiven bei 22,9 % liegt. Das sind 7,1 % weniger als bei diesel-elektrische Lokomotiven.

Diese Berechnungen für Elektrolokomotiven beinhalten nicht die Energie für den Bau von Kraftwerken und Tausenden von Kilometern an Oberleitungen, Unterwerken, elektrischem Be- und Entladen von Zugwaggons und andere Infrastrukturen, um vollelektrische Lokomotiven mit Strom zu versorgen oder dieselektrische Lokomotiven zu ersetzen.

- ❶ Quelle: Friedemann, A. J. (2015). When trucks stop running: Energy and the future of transportation. Springer, S.69. [übersetzt, bearbeitet].

3.3.4 M3: Auswirkungen von Mienen

Bergbau-Aktivitäten haben viele starke Auswirkungen auf die Umwelt.

Schaut euch die Bilder unten an oder hört euch den Alternativtext an.



©Burtynsky, Urheberrechtsgeschütztes Werk – Nutzung verboten.



Oil Bunkering #8

Niger Delta, Nigeria,
2016

©Burtynsky 

©Burtynsky, Urheberrechtsgeschütztes Werk – Nutzung verboten.



Clearcut #2

Palm Oil Plantation,
Borneo, Malaysia,
2016

©Burtynsky 

©Burtynsky, Urheberrechtsgeschütztes Werk – Nutzung verboten.

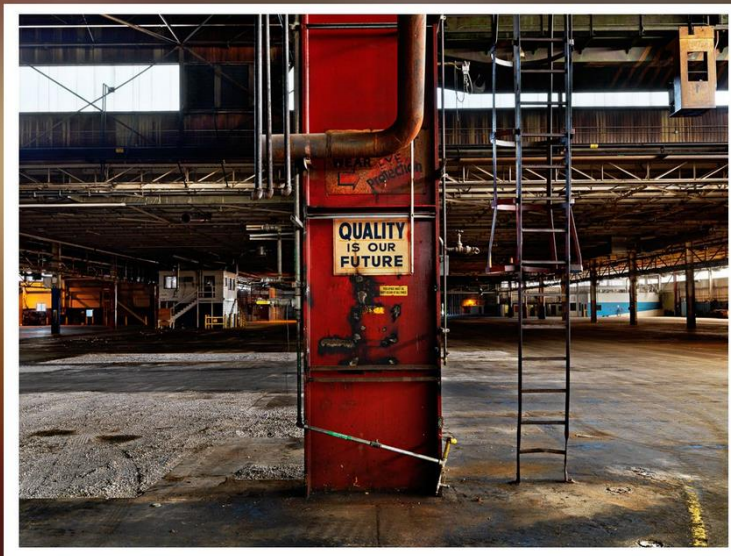


Alberta Oil Sands #9

Fort McMurray,
Alberta, Canada,
2007

©Burtynsky 

©Burtynsky, Urheberrechtsgeschütztes Werk – Nutzung verboten.



Dana Frame Plant #1

Thorold, Ontario,
Canada, 2010

©Burtynsky 

©Burtynsky, Urheberrechtsgeschütztes Werk – Nutzung verboten.

3.4 Material Gruppe 4: Elektrifizierung von LKWs, Flugzeugen und anderen schweren Fahrzeugen

3.4.1 Aufgabenstellung

Lest das Material und fasst zusammen, warum es so schwierig ist, schwere und große Fahrzeuge wie Lastwagen, Containerschiffe und Flugzeuge zu elektrifizieren.

3.4.2 M1

Damit die Elektrifizierung des Verkehrs aus Nachhaltigkeitsperspektive sinnvoll ist, muss der gesamte Strom, der die elektrischen Fahrzeuge antreibt, aus „erneuerbaren“ Quellen stammen. Dies ist momentan nicht der Fall. Das liegt daran, dass die Elektrifizierung des Energiesystems die Gesellschaft vor große Herausforderungen (mehr dazu im Modul „Erneuerbare Energien“). Unter der Annahme, dass die Elektrifizierung trotzdem machbar ist, haben die elektrischen Fahrzeuge selbst ein paar Probleme.

3.4.3 M2

Um große Schiffe, LKWs oder Flugzeuge elektrisch zu machen, bräuchte es Batterien, die so schwer sind, dass nur noch wenig Fracht (Waren oder Personen) transportiert werden können. Um die gleiche Menge an Fracht zu transportieren, bräuchte es demnach viel mehr Lkws, Flugzeuge, etc. Außerdem muss ständig angehalten werden, um die Batterie aufzuladen. Das geht aber nicht, wenn sich ein Flugzeug mitten in der Luft befindet, oder ein Schiff auf hoher See. Außerdem würde sich der Stromverbrauch enorm erhöhen. Ein weiteres Problem ist, dass für so viele Batterien sehr viele verschiedene Metalle benötigt werden, die aber nur begrenzt auf der Erde vorhanden sind, und deren Abbau häufig Schäden an der Umwelt und an den dort lebenden Menschen verursacht.

3.4.4 M3: Beispiel

Die besten Lithium-Ionen-Batterien speichern 0,17 kcal/g, was 65-mal weniger energiedicht ist als Benzin mit ~11 kcal/g. Eine Boeing 737 - das Arbeitspferd der Luftfahrtindustrie - hat ein Leergewicht von etwa 35 Tonnen und bietet Platz für etwa 15 Tonnen Treibstoff und 15 Tonnen Passagiere/Fracht. Für eine vergleichbare Energiespeicherung in Form von Batterien - selbst wenn man einen dreifachen Unterschied im thermischen Wirkungsgrad im Vergleich zum elektrischen Wirkungsgrad berücksichtigt (sehr optimistisch gerechnet) - würden 300 Tonnen Batterien benötigt: weit mehr als das maximale Startgewicht des gesamten Flugzeugs. Oder das Flugzeug müsste eine um den Faktor 20 verringerte Reichweite in Kauf nehmen und könnte nur noch bis zu 200 km weit fliegen. Die Aufladezeit wäre wahrscheinlich länger als die Flugzeit.

- ❶ Quelle: Murphy, T. W. (2021). Energy and Human Ambitions on a Finite Planet. eScholarship, University of California, S. 290

3.4.5 M4: Technische Probleme mit Batterien

Die Blackbox „Batterie“ sieht vielleicht einfach aus, aber in ihrem Inneren herrscht ein komplexes elektrochemisches Chaos, da die Batterie immer wieder zwischen Auf- und Entladung hin und her schwankt, was für eine Batterie sehr anstrengend ist. Das Wiederaufladen wieder Ordnung schaffen, aber mit der Zeit verstopfen die Metalle, Flüssigkeiten, Gele, Chemikalien und Feststoffe im Inneren, korrodieren, reißen, kristallisieren, werden unrein, laufen aus und gehen kaputt. Die Palette der Fahrzeugbatterien ist auf die 118 Elemente des Periodensystems beschränkt. Die meisten scheiden aus, weil sie radioaktiv (29), reaktionsträge Edelgase (6), nicht elektrisch leitend, seltene Erden oder Platingruppenmetalle (23), zu giftig (9), auf der Erde nicht vorhanden (2), zu selten, zu teuer oder zu schwer sind.

Die Gesetze der Physik haben den Batterien aufgrund der Eigenschaften der Elemente im Periodensystem theoretische Energieobergrenzen auferlegt. Die höchstmögliche

Energiedichte wäre eine fast 6-V-Lithium-Fluor-Batterie(Li/F₂). Trotz jahrzehntelanger Forschung gibt es jedoch keine Li-F-Batterie, da sie sehr giftig, nicht wiederaufladbar, instabil, unsicher und ineffizient ist, die Lösungsmittel und Elektrolyte die Spannung nicht bewältigen können und Lithiumfluorid schließlich auskristallisiert und keinen Strom mehr leitet. Die zweithöchste, Li-air (Li/O₂), hat theoretisch eine Energiedichte, die der von Benzin nahekommt, könnte aber in der Praxis doppelt so gut sein wie die derzeitigen Li-ion-Batterien. Sie sind noch im Versuchsstadium, haben eine geringe Leistung, lassen sich schlecht zyklisieren und benötigen reines O₂, wofür ein Sauerstofftank erforderlich ist. Ein Prototyp ist wahrscheinlich noch über 30 Jahre entfernt.

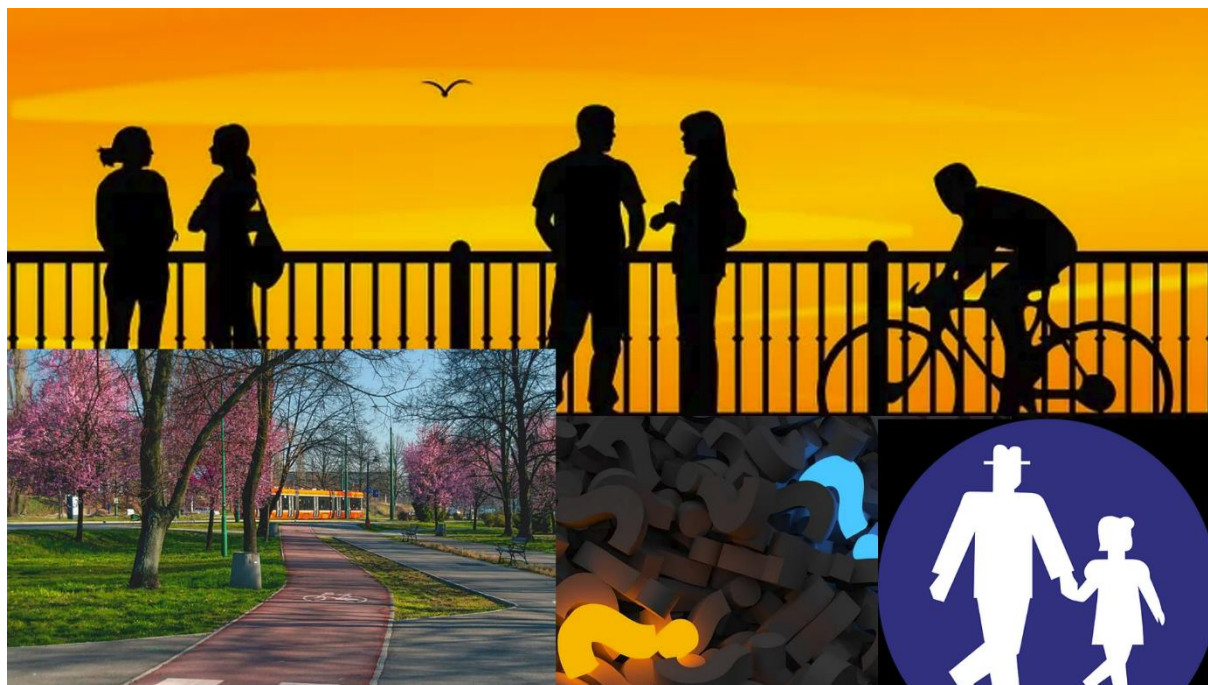
- ❶ Quelle: Friedemann, A. J. (2015). When trucks stop running: Energy and the future of transportation. Springer. [übersetzt, bearbeitet]



4. Aufgabe: Szenarien

Die Probleme von Bio-Kraftstoffen und Elektrifizierung legen nahe, bedeuten nicht, dass wir sie gar nicht nutzen sollten. Aber in einem nachhaltigen Verkehrssystem werden nur einen sehr kleinen Anteil ausmachen.

Die Bilder auf der nächsten Seite stellen zwei Zukunftsszenarien in Form dar. Spielt ein bisschen mit den Bildern herum und überlegt: Welche Vor- und Nachteile hätten die beiden Szenarien? Wie viel des Gesamtbildes sollte von einem Szenario dominiert werden?





5. Aufgabe: Möglichkeit C

Eine dritte Möglichkeit nachhaltiger Mobilität (C), habt ihr bereits als ein Szenario kennengelernt. Sie basiert hauptsächlich auf Fortbewegungsmethoden, die: a) langsam sind, b) kein oder sehr wenig CO₂ ausstoßen, c) wenig Materialien benötigen, d) nicht zwangsläufig auf Strom angewiesen sind. Beispiele: Laufen, Fahrräder, Roller, Lastenräder, Rikschas, leichte Segelschiffe. Ergänzt würden diese Fortbewegungsmittel durch E-Bikes und E-Scooter sowie Nahverkehrszüge, Helikopter oder Sammeltaxis für besondere Fälle.

Wenn nachhaltige Mobilität eine Verringerung des Verkehrsaufkommens, der Entfernungen und der Geschwindigkeit bedeutet, wie sähe dann unser Leben aus?

- a) Bildet Gruppen. Jede Gruppe arbeitet zu einem Thema und erstelle eine Infographik mit ihren Ergebnissen.
 - Gruppe 1: Der Aufbau unserer Städte.
 - Gruppe 2: Essen.
 - Gruppe 3: Die Art der konsumierten Waren.
 - Gruppe 4: Reisen.
 - Gruppe 5: Jobs/Berufe
- b) Bildet neue Gruppen, sodass in jeder Gruppe alle Themen vertreten sind. Tauscht euch über eure Schlussfolgerungen aus.
- c) Welche Gefühle löst die Idee einer solchen nachhaltigen Mobilität in uns aus?
- d) Recherchiert nun nach Konzepten nachhaltiger Mobilität, die bereits in verschiedenen Teilen der Welt existieren.

i Weitere Literatur:

Mineralien, Recycling: Hund, K., La Porta, D., Fabregas, T. P., Laing, T., & Drexhage, J. (2020). Minerals for climate action: the mineral intensity of the clean energy transition. World Bank.

Mineralien: Pulido-Sanchez, D., Capellan-Perez, I., Mediavilla-Pascual, M., de-Castro-Carranza, C., & Frechoso-Escudero, F. (2021). Analysis of the material requirements of global electrical mobility. DYNA. Marzo, 96, 207-213.

6. Lösung Aufgabe 2

Der Hauptenergieträger unseres Verkehrssystems ist Erdöl, bzw. die Treibstoffe, die aus Erdöl hergestellt werden, und mit denen Autos, große Kraftfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge und auch viele Züge angetrieben werden.

Negative Umweltfolgen: Klimawandel: Der Verkehrssektor ist einer der größten emissionsrelevanten Sektoren. Daneben gibt es weitere negative Folgen, z.B. Luftverschmutzung, die schädlich für die Gesundheit ist.