

E-AUTO – JA, ABER WIE?



Inhaltsverzeichnis

1.	Hinweise zum Modul	2
2.	Überblick: E-Auto – ganz ohne Umweltbelastung Autofahren?	2
2.1	Intro: Elektromobilität – ganz ohne Umweltbelastung?	2
2.2	Info 1: Kohlenstoffdioxid-Emissionen im Vergleich	3
2.3	Impulse:	3
2.4	Info 2: Ökobilanz und E-Mobilität	4
2.5	Info 3: Ursachen der Kohlenstoffdioxid-Emissionen	4
2.6	Impulse:	5
2.7	Aufgabe: Zukunftsszenario 2040	5
2.8	Impulse:	5
3.	Einheit 1: Der Akku – Rohstoffbeschaffung und Kritikalität	6
3.1	Intro: Aufbau eines E-Autos	6
3.2	Info: Akkus im Vergleich	6
3.3	Versuch: Lithium-Ionen-Akku selbst bauen (Schule)	7
3.4	Impuls:	8
3.5	Aufgabe: Rohstoff Gruppenpuzzle - Expertisegruppe	9
3.6	Impuls:	9
3.7	Aufgabe: Rohstoff Gruppenpuzzle - Stammgruppe	10
3.8	Impuls:	10
4.	Einheit 2: Recycling – aber wie?	12
4.1	Intro: Einmal abgebaut, fährt er uns für immer überall hin?	12
4.2	Impuls: Lithium-Ionen-Akku nach Jahren	12
4.3	Info 1: Lebensdauer eines Lithium-Ionen-Akkus	13
4.4	Impulse:	13
4.5	Info 2: Einsparung durch Recycling	14
4.6	Info 3: Recyclingquoten	14
4.7	Aufgabe: Forschung zu Akkurecycling	15
4.8	Impulse:	15
4.9	Aufgabe: Forschung zu Batterierecycling – Weiterführung	16

1. Hinweise zum Modul

Das Modul kann auch als barrierearme PDF heruntergeladen werden: [hier](#).

Das Modul ist für die Oberstufe konzipiert und beschäftigt sich in einer Überblickseinheit und zwei Vertiefungseinheiten mit den Auswirkungen von E-Autos. Dazu wird folgenden Leitfragen nachgegangen:

- Kann man mit einem E-Auto ganz „ohne“ Umweltbelastung, allen voran ohne Kohlenstoffdioxid-Ausstoß, Auto fahren? (Überblick)
- Woraus besteht der wiederaufladbare Akku und wie „kritisch“ sind die darin enthaltenen Rohstoffe? (Einheit 1)
- Recycling als Lösung: Wie aufwändig und wie umweltfreundlich sind die derzeitigen Verfahren? (Einheit 2)

Die Vertiefungseinheiten können auch allein (z.B. zu Akkumulatoren allgemein) thematisiert werden.

2. Überblick: E-Auto – ganz ohne Umweltbelastung Autofahren?

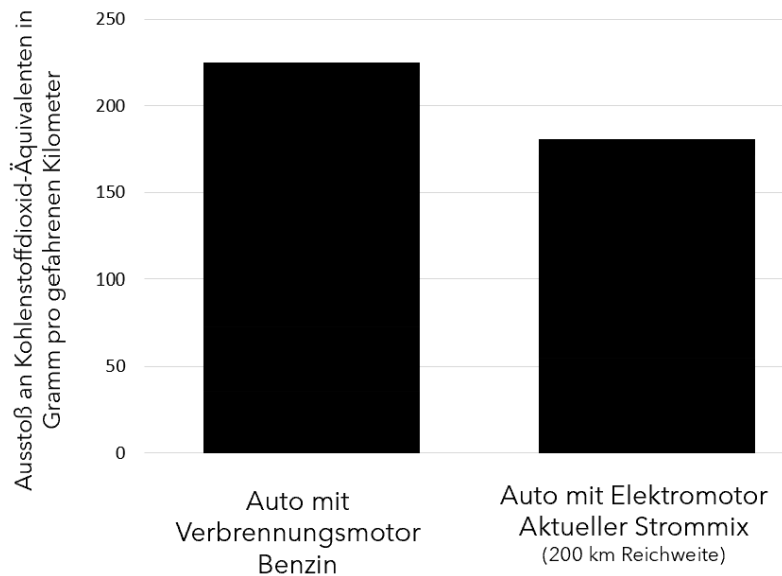
2.1 Intro: Elektromobilität – ganz ohne Umweltbelastung?

Der Verkehrssektor trägt ca. 22 Prozent zu den Treibhausgasemissionen in Deutschland bei (Stand 2023, Quelle: Umweltbundesamt).

Um den Anteil der Treibhausgase zu senken, könnte der Elektro-Mobilität im Verkehrssektor eine zentrale Rolle zukommen.

Quelle (Link): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr> Abgerufen am 23.05.2026

2.2 Info 1: Kohlenstoffdioxid-Emissionen im Vergleich



Aufgaben:

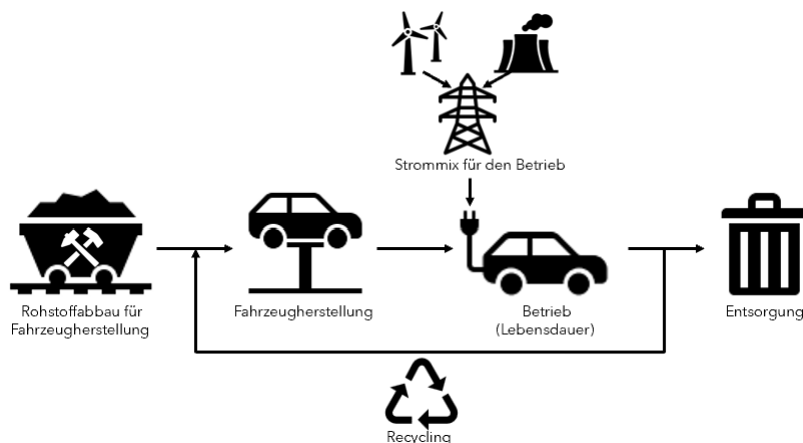
1. **Vergleiche** die Kohlenstoffdioxid-Emissionen eines Verbrennungsmotors und eines Elektromotors aus der Abbildung. Quelle: Banse, 2025, S. 365
2. **Stelle eine Vermutung** zu den Ursachen für die Kohlenstoffdioxid-Emissionen bei Elektroautos **auf**.

2.3 Impulse:

1. Aus der Webseite eines Stromanbieters: „Wenn Sie sich für ein E-Auto interessieren, achten Sie darauf, wie und wo das Fahrzeug und seine Batterie produziert werden.“

Quelle (Link): www.eon.de/de/pk/e-mobility/oekobilanz-elektroauto.html

2. Lebensweg eines Elektroautos:



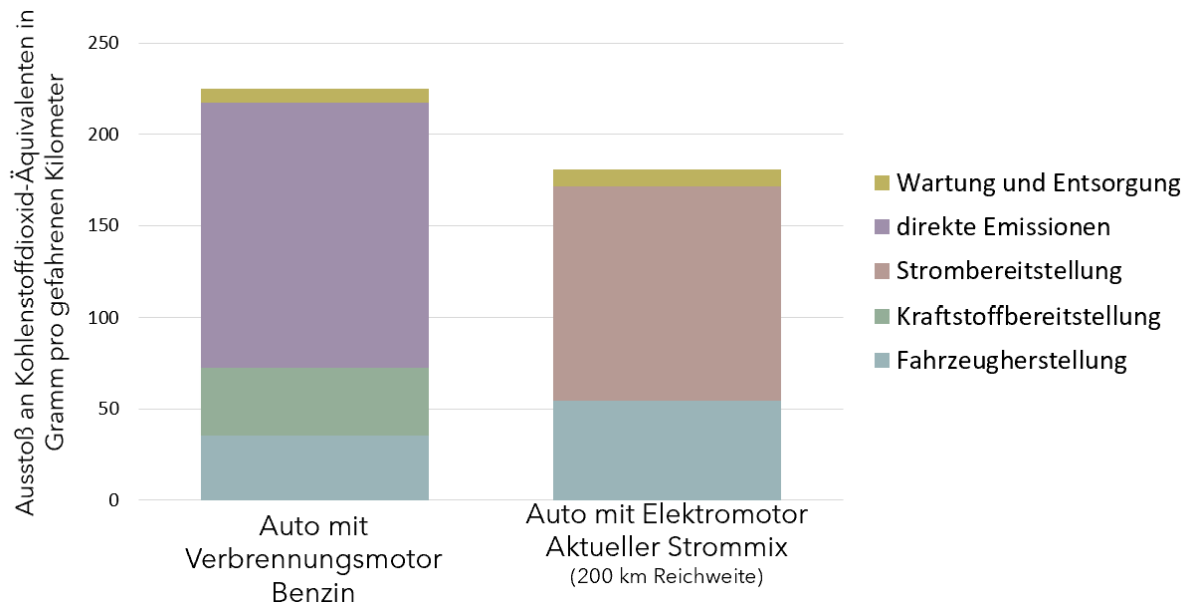
2.4 Info 2: Ökobilanz und E-Mobilität

Um die Ökobilanz von Produkten zu untersuchen, wird entlang ihres gesamten Lebenswegs ihre Umweltverträglichkeit (z.B. Kohlenstoffdioxid-Emissionen) systematisch analysiert und beurteilt.

Bei der Ökobilanz eines Elektroautos sind folgende Faktoren zu beachten:

- Rohstoffverbrauch bei der Fahrzeugherstellung
- Strombereitstellung / Strommix für den Betrieb
- Lebensdauer
- Entsorgung bzw. Recycling

2.5 Info 3: Ursachen der Kohlenstoffdioxid-Emissionen



Quelle: Eigene Abbildung nach Banse, 2025, S. 365

Aufgaben:

1. **Beschreibe** und vergleiche die Kohlenstoffdioxid-Emissionen eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor und eines Elektromotors.
2. **Stelle** Vermutungen zu den Unterschieden der Emissionen aus.
3. **Nenne** Möglichkeiten, um die Kohlenstoffdioxid-Emissionen bei E-Autos zu verringern.

2.6 Impulse:

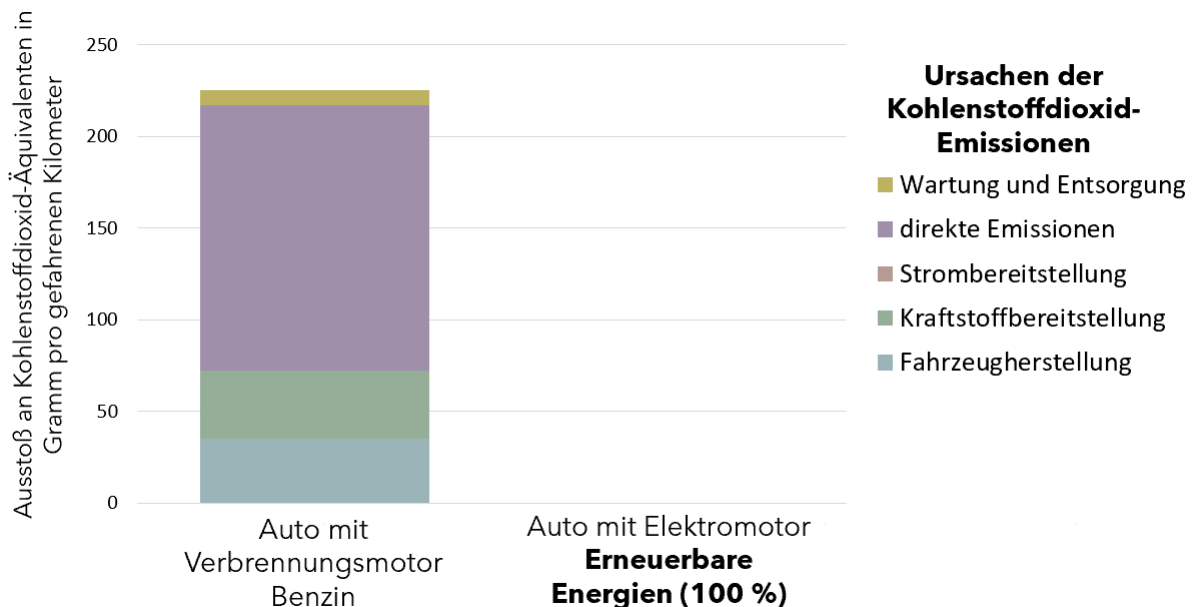
1. Aus der Webseite eines Stromanbieters: „Woher kommt der Strom für E-Autos?“

Quelle (Link): www.eon.de/de/pk/e-mobility/woher-kommt-der-strom-fuer-die-e-autos.html

2. Tipp: Die Emissionen der Strombereitstellung hängen vom Strommix bzw. der Energieanlage ab, mit dem das E-Auto geladen wird.

2.7 Aufgabe: Zukunftsszenario 2040

Zeichne die Säule im Diagramm für ein E-Auto nach der Energiewende.



Quelle: Eigene Abbildung nach Banse, 2025, S. 367

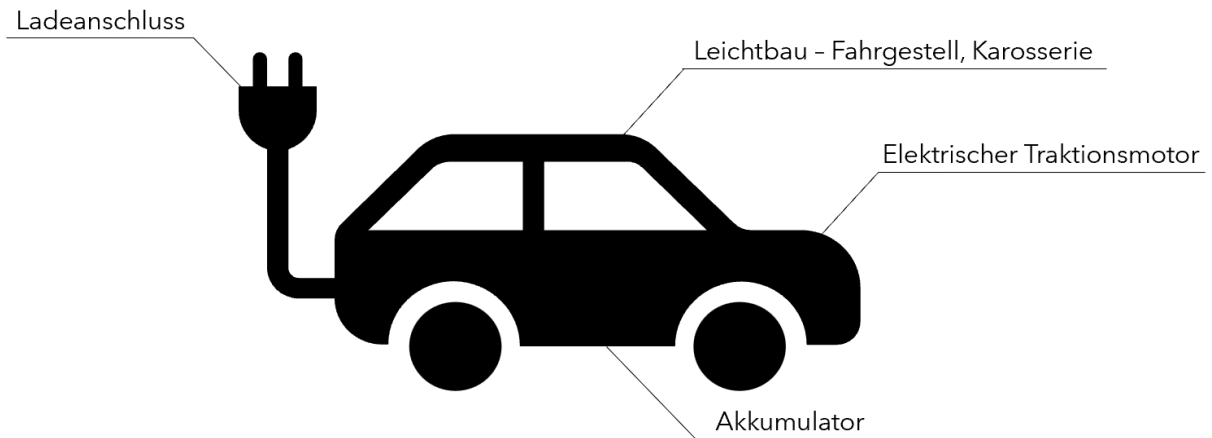
2.8 Impulse:

1. Tipp 1: Energieanlagen der „Erneuerbaren Energien“ haben nur indirekte Emissionen im Anlagenbau und keine direkten Emissionen im Betrieb.
2. Tipp 2: Ein Strommix aus 100 % erneuerbaren Energien hat nur etwa 2 % der Kohlenstoffdioxidemissionen eines durchschnittlichen Strommixes, in dem auch Strom aus Erdgas und Kohle genutzt wird.

Quelle: Akber et al., 2017; Atilgan & Azapagic, 2016

3. Einheit 1: Der Akku – Rohstoffbeschaffung und Kritikalität

3.1 Intro: Aufbau eines E-Autos



Aufgabe:

1. **Beschreibe** den Aufbau eines E-Autos.
2. **Benenne** Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Verbrenner-Autos.

3.2 Info: Akkus im Vergleich

	Nickel-Metallhydrid-Akku	Lithium-Ionen-Akku
Wiederaufladbarkeit	✓	✓
Elektrische Spannung	1,2 V	3,2-3,7 V
Energiedichte	60-120 Wh/kg	150-250 Wh/kg
Selbstentladung	20-30 % pro Monat	2-5 % pro Monat
Lebensdauer	500-1000 Ladezyklen	500-2000 Ladezyklen

Quelle: Lee, B. (o.J.). NiMH vs. Lithium-Ionen: Ein umfassender Vergleich. *TRITEK*.
<https://tritekbattery.com/de/nimh-vs-lithium-ion/>

Aufgabe:

Diskutiere, welcher Akku besser für ein E-Auto geeignet ist.

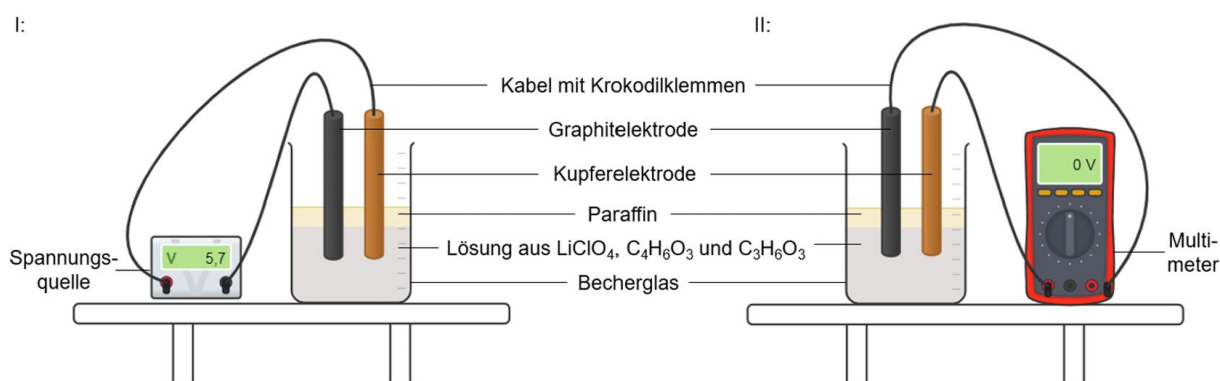
3.3 Versuch: Lithium-Ionen-Akku selbst bauen (Schule)

Geräte: Magnetrührer, 2 Graphitminen/-elektroden, 100 mL-Becherglas, Stativ mit Klemmen, 2 Kabel mit Krokodilklemmen, Spannungsmessgerät (Alternativ: Stromabnehmer wie LED-Lampe), Gleichspannungsquelle

Chemikalien: Lithiumperchlorat (GHS03, GHS07), Propylencarbonat (GHS07), Dimethylcarbonat (GHS02), ggf. dünnflüssiges Paraffin (GHS08)

Durchführung: Im Becherglas werden 5,3 g Lithiumperchlorat in ein Gemisch aus 20 mL Propylencarbonat und 30 mL Dimethylcarbonat gegeben. Um das Lithiumperchlorat vollständig zu lösen, wird dieses etwa 20 Minuten gerührt.

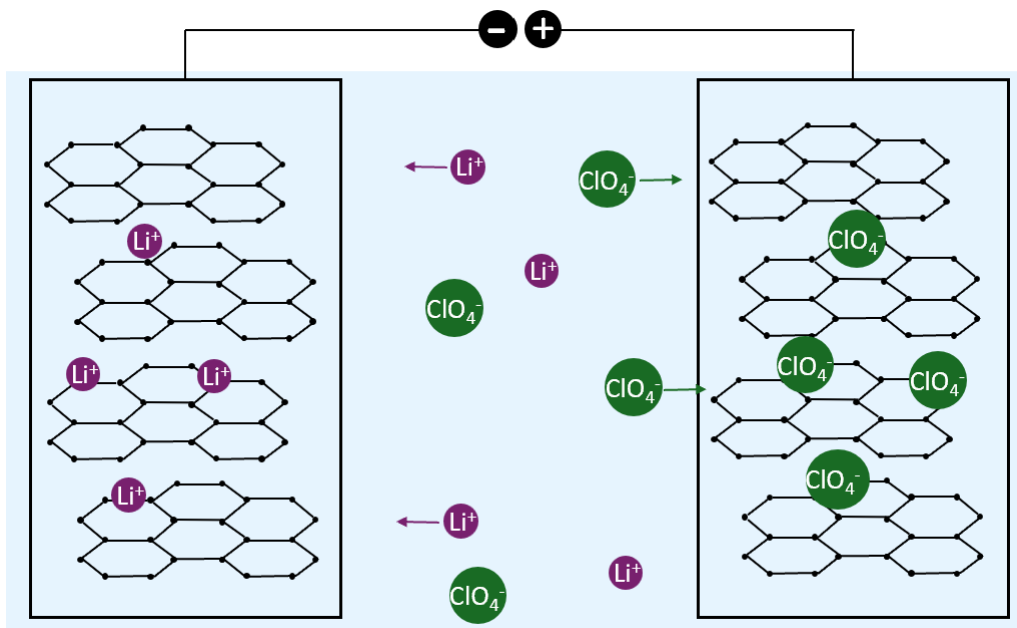
Die Elektrolytlösung kann mit einer 1 cm dicken Paraffinschicht überschichtet werden (10 mL), um eindringende Feuchtigkeit abzuhalten. Beide Elektroden werden etwa 3 cm tief in das Gemisch getaucht und durch Krokodilklemmen und Kabel mit einem Spannungsmessgerät oder einem Stromabnehmer verbunden. Der Spannungswert wird abgelesen. Anschließend werden die Graphitelektroden mit der Spannungsquelle verbunden und eine Spannung von 4-6 V für drei Minuten angelegt. Danach wird die Spannung erneut durch das zwischengeschaltete Spannungsmessgerät beobachtet. Der Vorgang des Ladens mit anschließender Spannungsmessung wird wiederholt.



Entsorgung: Organische Lösemittel

Auswertung:

Die hohe Energiedichte geht auf die innovative Funktionsweise der Lithium-Ionen-Akkus zurück, der Intercalation. Das heißt, dass die Ionen „nur“ eingelagert werden.

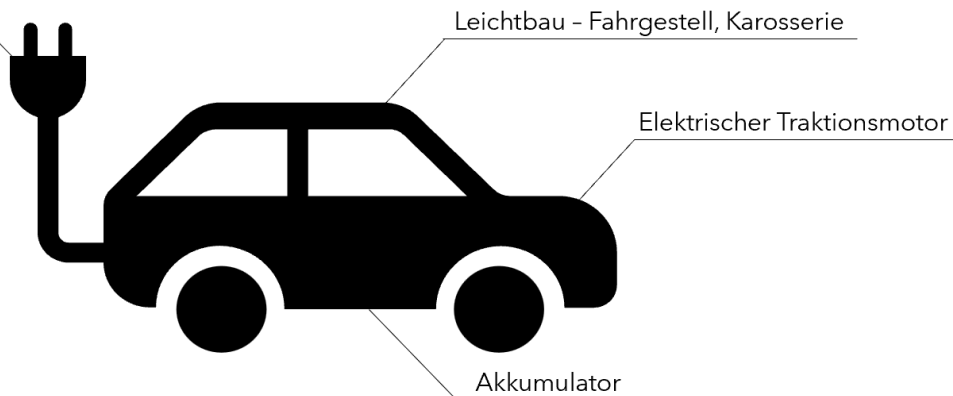


Quelle: Hasselmann, M., Wagner, C., & Oetken, M. (2014). Lithiummetall-Akkumulatoren als elektrochemische Energiespeicher und die faszinierende Chemie eines ausgewählten Alkalimetalls. *Chemkon*, 21 (4), 163-174.

Hasselmann, M. & Oetken, M. (2011). Elektrische Energie aus dem Kohlenstoffsandwich. Lithium-Ionen-Akkumulatoren auf Basis redoxamphoterer Graphitintercalations-Elektroden. *Chemkon*, 18 (4), 160-172.

3.4 Impuls:

Ladeanschluss



Limitation Schulversuch:

Anode: Grafit

Kathode: Nickel,
Mangan, Kobalt

3.5 Aufgabe: Rohstoff Gruppenpuzzle - Expertisegruppe

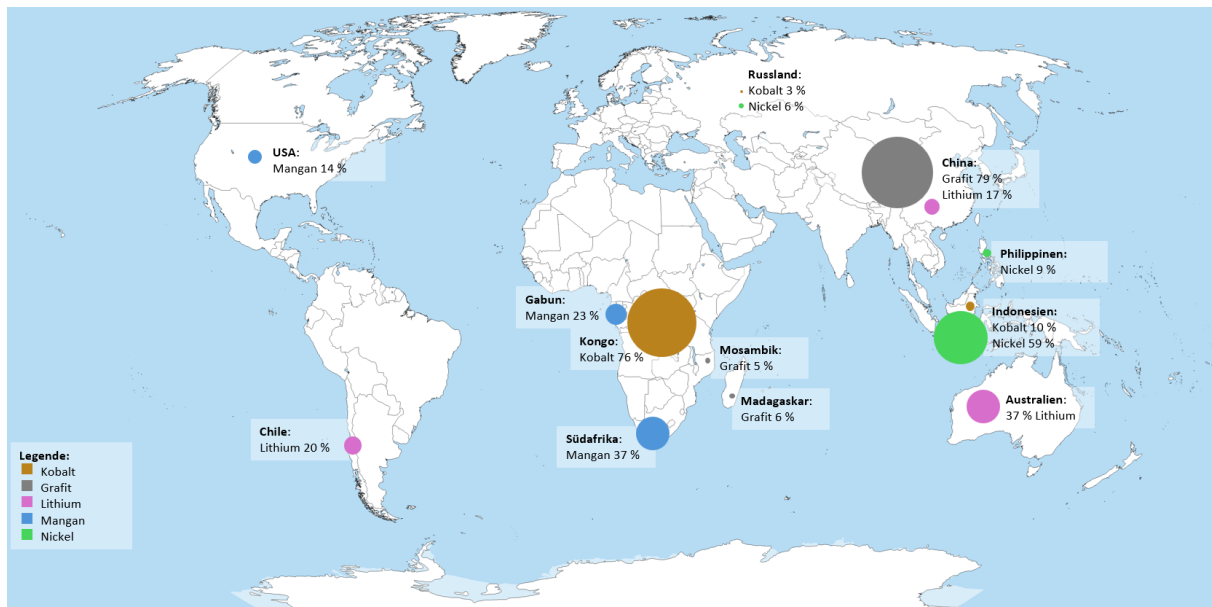
1. **Teilt** euch in Expertengruppen zu je 2-3 Schüler / Schülerinnen **auf**.
2. Jede Expertengruppe **erstellt** einen Steckbrief zu **einem** der folgenden Rohstoffe: Lithium, Grafit, Nickel, Mangan, Cobalt. Der Steckbrief muss folgende Informationen enthalten: Name des Erzes, Abbauland, Verwendung, Eigenschaften (für Verwendung nützliche).

Recherchetipp: Rohstoffe für die E-Mobilität: Entwicklungspolitische Perspektiven. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH <https://www.bmz.de/resource/blob/86342/rohstoffe-fuer-e-mobilitaet.pdf>

3. **Klärt** nach Beendigung der Arbeitsphase eure **Fragen**, bereitet euch darauf vor, eure Steckbriefe verständlich zu präsentieren.
4. **Bildet** nun Stammgruppen, in dem aus jeder Rohstoff-Gruppe ein:e Expert:in vertreten ist und **stellt** eure Rohstoffe den anderen **vor**.

3.6 Impuls:

Abbau der Rohstoffe (je die drei größten Abbauländer)



Bildquelle Weltkarte: Leere Weltkarte zum Herunterladen und Verwenden. *Weltkarte 1.* <https://www.weltkarte1.com/leere-weltkarte> [Zuletzt aufgerufen: 18.11.2025]

	Land	Abbau (2024)
Kobalt (in Tonnen)	Kongo	220 000 (76 %)
	Indonesien	28 000 (10 %)
	Russland	8 700 (3 %)
	Gesamt	290 000

	Land	Abbau (2024)
Mangan (in Tonnen)	Südafrika	7 400 (37 %)
	Gabun	4 600 (23 %)
	USA	2 800 (14 %)
	Gesamt	20 000

	Land	Abbau (2024)
Grafit (in Tonnen)	China	1 270 000 (79 %)
	Madagaskar	89 000 (6 %)
	Mosambik	75 000 (5 %)
	Gesamt	1 600 000

	Land	Abbau (2024)
Nickel (in Tonnen)	Indonesien	2 200 000 (59 %)
	Philippinen	330 000 (9 %)
	Russland	210 000 (6 %)
	Gesamt	3 700 000

	Land	Abbau (2024)
Lithium (in Tonnen)	Australien	88 000 (37 %)
	Chile	49 000 (20 %)
	China	41 000 (17 %)
	Gesamt	240 000

Datenquelle (Stand: 2024): USGS (U.S. Geological Survey) (2025). Mineral Commodity Summaries 2025. USGS. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf>.

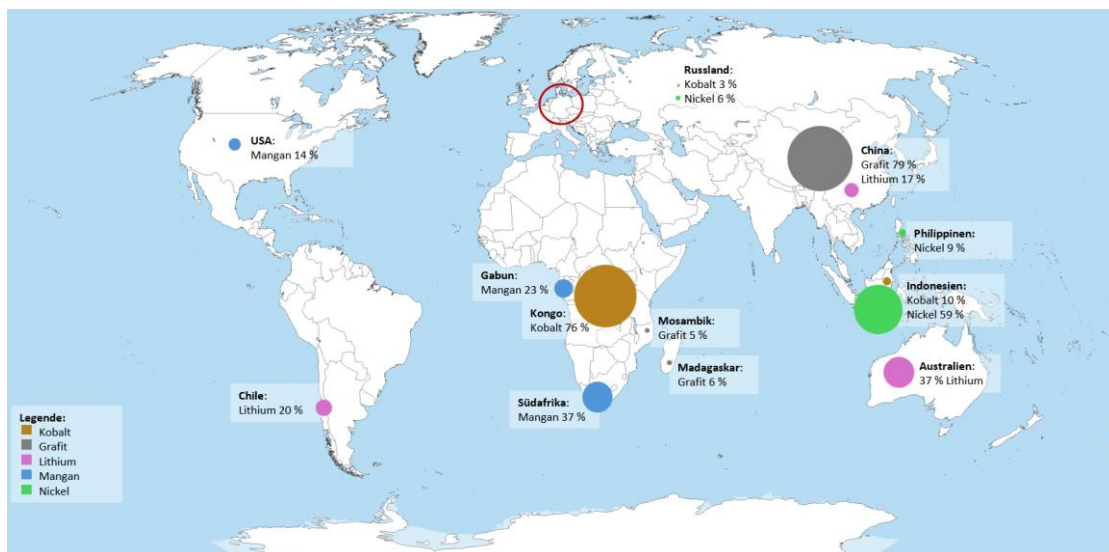
3.7 Aufgabe: Rohstoff Gruppenpuzzle - Stammgruppe

1. **Überlegt** in eurer Stammgruppe, welche der vorgestellten Rohstoffe „kritisch“ für Europa sein könnten.
2. **Nimmt** dafür Impuls 1 **zur Hilfe**.
3. **Vergleiche** die Ergebnisse mit Impuls 2.
4. **Begründet** eure Meinung. **Erläutert** die Kritikalität der Rohstoffe anhand der beiden Kriterien für Kritikalität und der Informationen der Steckbriefe.

Hinweis: Behalte die Steckbriefe für Einheit 2.

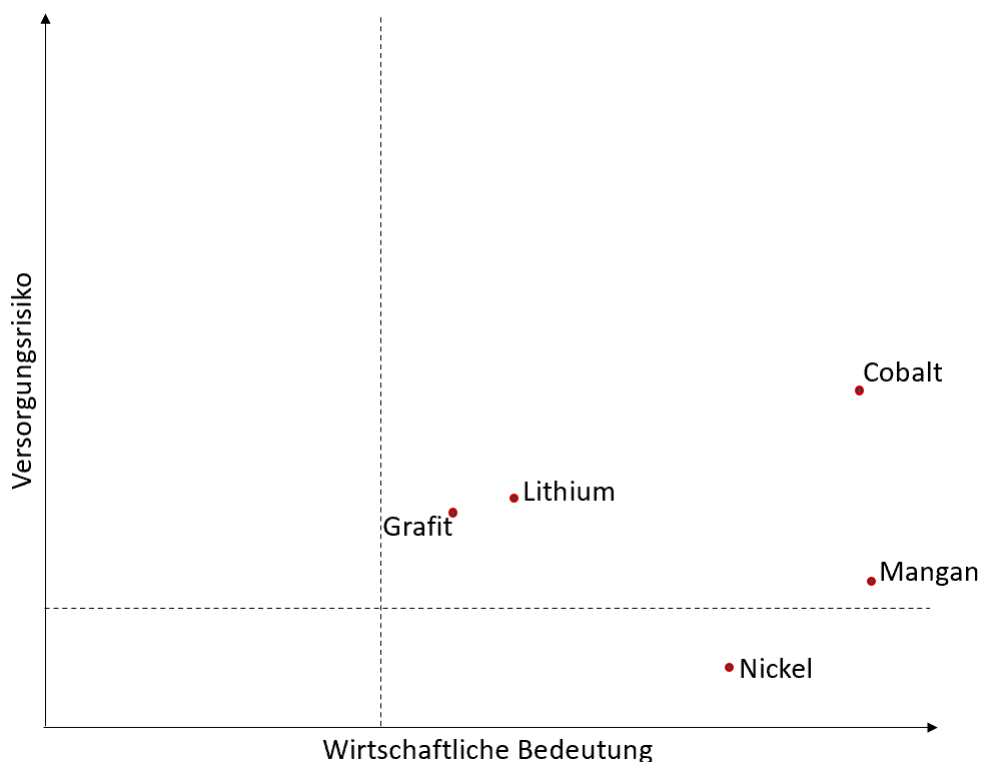
3.8 Impuls:

1. Welches Problem hat Deutschland (und Europa)?



Info: Deutschland ist von der Zulieferung der Rohstoffe aus anderen Ländern abhängig. Die Versorgungssicherheit dennoch zu gewährleisten, kann eine Herausforderung sein.

2. Kritikalitätseinschätzung der EU



- Versorgungsrisiko: Verteilung von Abbauländern, Politische Stabilität der Länder
- Wirtschaftliche Bedeutung: (Verwendungsfelder)

Info: Die EU stuft manche Rohstoffe als "kritisch" ein. Das passiert, wenn 2 Bedingungen erfüllt sind:

Der Rohstoff muss wirtschaftlich wichtig sein.

- Außerdem muss es ein Risiko bei der Versorgung geben.

Beide Bedingungen müssen ein „bestimmtes Ausmaß“ überschreiten.

Ausnahmefälle: Selbst, wenn wirtschaftlich sehr bedeutende Rohstoffe den Schwellenwert nicht überschreiten, können diese als kritisch eingestuft werden

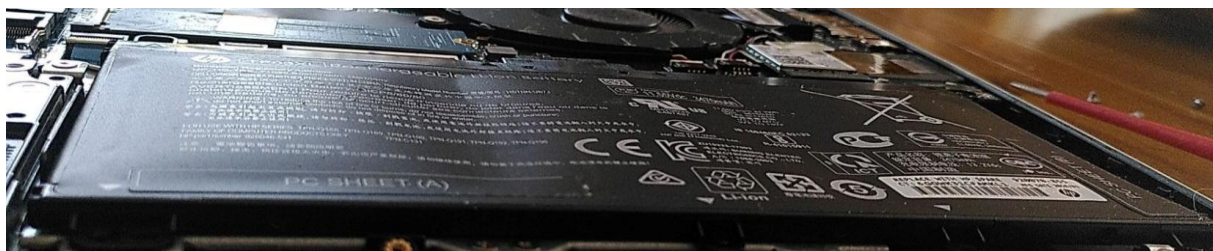
4. Einheit 2: Recycling – aber wie?

4.1 Intro: Einmal abgebaut, fährt er uns für immer überall hin?

„Der Rohstoffbedarf betrifft vor allem die Produktion von E-Autos. Ist das E-Auto hergestellt und in Betrieb, so ist das Problem beseitigt!“

Aufgabe: **Begründe**, inwiefern du der Aussage zustimmst.

4.2 Impuls: Lithium-Ionen-Akku nach Jahren



Aufgabe:

1. **Beschreibe** das Bild des Lithium-Ionen-Akkus nach 4 Jahren.
2. **Überlege**, inwiefern diese Beobachtung problematisch ist.

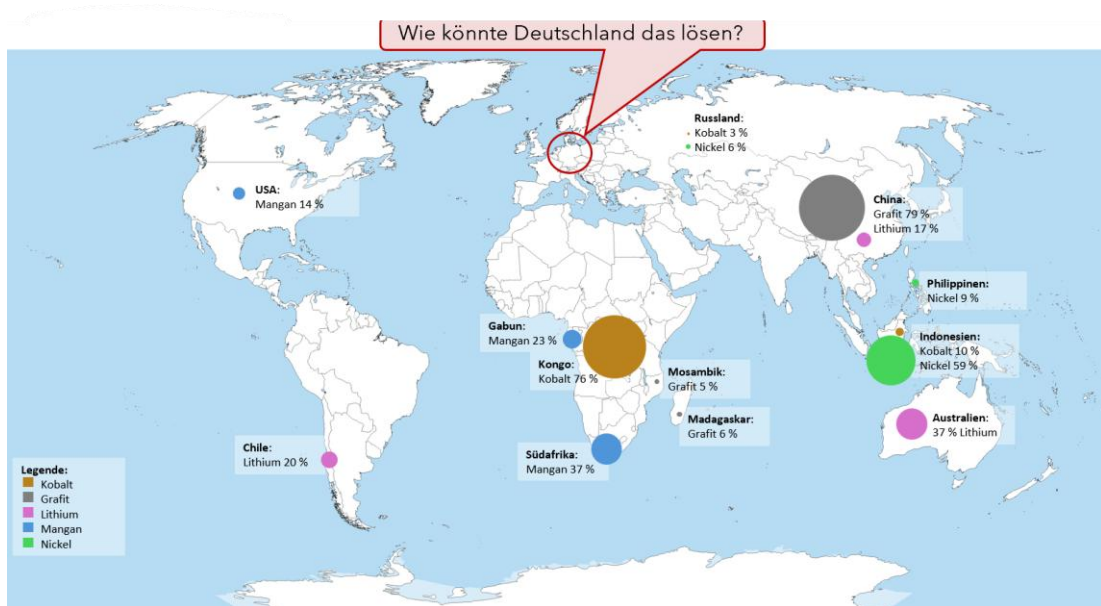
Tipp: Qualität sinkt mit der Zeit. [Problem hier: Akku bläht sich auf, z.B. durch Überladung oder extreme Temperaturen.]

4.3 Info 1: Lebensdauer eines Lithium-Ionen-Akkus

- Ladezyklen von Lithium-Ionen-Akkus: 500-800 Ladezyklen (optimiert: bis zu 2000)
- Lebensdauer: 10-15 Jahre

4.4 Impulse:

1. Wie könnte Deutschland das Problem der Kritikalität für neue Rohstoffe lösen?



2.



Bildquelle (links): pasja1000 (Pixabay)

4.5 Info 2: Einsparung durch Recycling

Recycling: Rohstoffe aus alten Produkten werden vollständig aufbereitet, um weiter genutzt werden zu können (Kreislauf).

Dadurch müssen weniger Rohstoffe abgebaut werden und es werden Kohlenstoffdioxid-Emissionen gespart.



weniger Bedarf an **Rohstoff**abbau

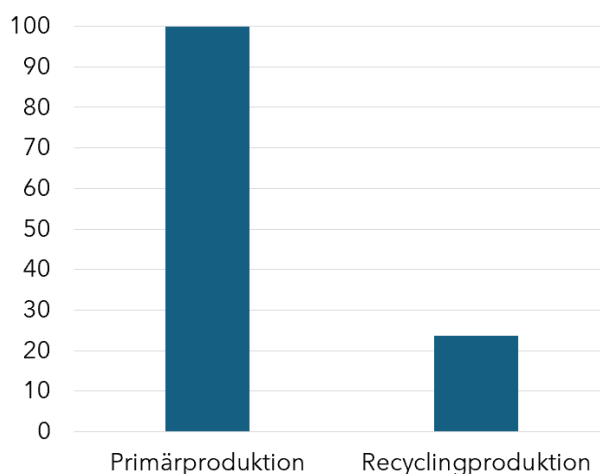


Abb. Kohlenstoffdioxid-Äquivalent-Einsparungen im Verhältnis zur Primärproduktion [in %] (nach Kallitsis et al., 2022)

weniger **Kohlenstoffdioxid-Emissionen** bei der Herstellung

Quelle: Kallitsis, E., Korre, A. & Kelsall, G. H. (2022). Life cycle assessment of recycling options for automotive Li-ion battery packs. *Journal of Cleaner Production*. 371, 133636.

4.6 Info 3: Recyclingquoten

Metall	Recyclingquote (EU) [Stand: 2013]	Recyclingquote (EU) [Stand: 2022]
Cobalt	16 %	22 %
Kupfer	20 %	55 %
Lithium	0 %	0 %
Nickel	32 %	16 %
Grafit	0 %	o.A.; 2015: 3 %
Mangan	19 %	o.A.

Quelle: Eurostat. (2023). *Contribution of recycled materials to raw materials demand - end-of-life recycling input rates* (EOL-RIR). https://doi.org/10.2908/CEI_SRM010

Talens Peiro, L., Nuss, P., Mathieux, F. & Blengini, G. (2018). *Towards Recycling Indicators based on EU flows and Raw Materials System Analysis data, EUR 29435 EN, Publications Office of the European Union*. doi:10.2760/092885.

Aufgabe:

Ergänze die jeweils aktuellste Recyclingquote der Rohstoffe auf den Steckbriefen.

4.7 Aufgabe: Forschung zu Akkurecycling

Du arbeitest in der Geschäftsführung eines neu gegründeten Recyclingunternehmens und darfst mitentscheiden, welches Recyclingverfahren ihr weiterentwickeln nutzen möchtest. Es gibt zwei verschiedenen Verfahren in der Batterieforschung, um Lithium-Ionen-Akkus zu recyceln:

- Hydrometallurgische Verfahren (z.B. mit Säuren),
- Pyrometallurgische Verfahren (mit hohen Temperaturen).

Quelle: Kallitsis, E., Korre, A. & Kelsall, G. H. (2022). Life cycle assessment of recycling options for automotive Li-ion battery packs. *Journal of Cleaner Production*. 371, 133636.

Aufgaben:

1. **Lies** die folgenden Hilfekarten durch.
2. **Bearbeite** die Aufgaben zu den Verfahren.
3. **Entscheide** dich dann, welches Verfahren dasjenige ist, das weiter erforscht werden sollte.
4. **Begründe** deine Wahl.

4.8 Impulse:

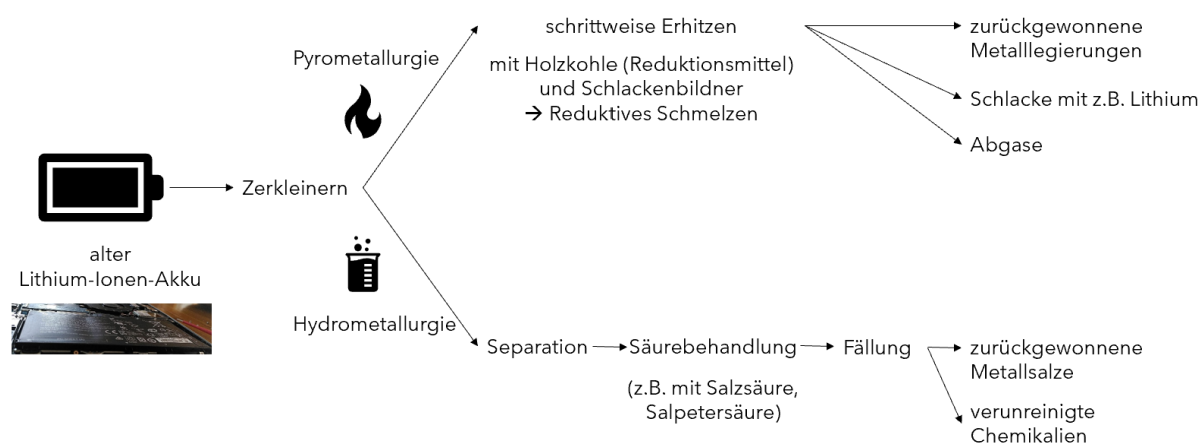
Begriffe:

Recycling: Rohstoffe aus alten Produkten werden vollständig aufbereitet, um weiter genutzt werden zu können (Kreislauf).

Hydrometallurgie: Hydrometallurgische Verfahren bereiten „nasschemisch“ auf. Dabei nutzen sie aus, dass sich Stoffe verschieden gut in Chemikalien wie Säuren und Basen lösen.

Pyrometallurgie: Pyrometallurgische Verfahren bereiten mit Hitze auf, die meistens durch die Verbrennung von Erdgas erreicht wird. Dabei nutzen sie aus, dass sich Stoffe bei hohen Temperaturen unterschiedlich verhalten.

Funktionsweise der Verfahren:



Info Pyrometallurgie: Die hohen Temperaturen ermöglichen es, dass die Metalle in Legierungen bilden, die sich leichter von Verunreinigungen trennen lassen.

Info Hydrometallurgie: Saure Lösungen bringen die Metalle in Lösung. Mit verschiedenen Chemikalien können sie anschließend gefällt werden, ein Niederschlag des Metallsalzes kann abgetrennt und weiterverwendet werden.

Quelle: Li, M., Mo, R., Ding, A., Zhang, K., Guo, F. & Xiao, C. (2024). Electrochemical technology to drive spent lithium ion batteries (LIBs) recycling: recent progress, and prospects. *Energy Mater*, 4, 400070.

4.9 Aufgabe: Forschung zu Batterierecycling – Weiterführung Aufgaben zu den Auswirkungen der Verfahren:

1. **Überlege** dir 3 Kriterien zur Beurteilung der beiden Verfahren, die dir für deine Entscheidung wichtig sind.
2. **Trage** deine Kriterien **ein**.

3. **Fülle** die Spalten zu den Verfahren mit den Angaben „höher“ und „niedriger“, um die Verfahren in Bezug auf die genannten Kriterien zu vergleichen.

	Hydrometallurgisches Verfahren	Pyrometallurgisches Verfahren
Energiemenge		
Kohlenstoffdioxid-Emissionen		
Abwassermengen		
Versauerung (vgl. saurer Regen)		
Kosten	niedriger	höher
Effizienz (v.a. für Lithium)	höher	niedriger
Prozessschritte (Komplexität)	höher	niedriger

Aufgaben zum Gewichten der Kriterien:

1. **Ordne** in der ersten Spalte zu, wie wichtig dir die Auswirkungen der Verfahren sowie weitere Kriterien für deine Entscheidung sind.
2. **Schreibe** in der zweiten Spalte, welches Verfahren in Bezug auf das jeweilige Kriterium besser abschneiden.

	nicht wichtig bis sehr wichtig 0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	Verfahren
Energiemenge	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	
Kohlenstoffdioxid-Emissionen	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	
Abwassermengen	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	
Versauerung (vgl. saurer Regen)	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	
Kosten	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	
Effizienz (v.a. für Lithium)	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	
Prozessschritte (Komplexität)	0 ... 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5	

Aufgabe zur Entscheidung der Batterierecycling-Forschung:

Es gibt zwei verschiedenen Verfahren in der Batterieforschung, um Lithium-Ionen-Akkus zu recyceln:

- Hydrometallurgische Verfahren (z.B. mit Säuren),
 - Pyrometallurgische Verfahren (mit hohen Temperaturen).
1. **Entscheide** dich, an welcher weiter geforscht werden sollte.
 2. **Begründe** deine Entscheidung.