

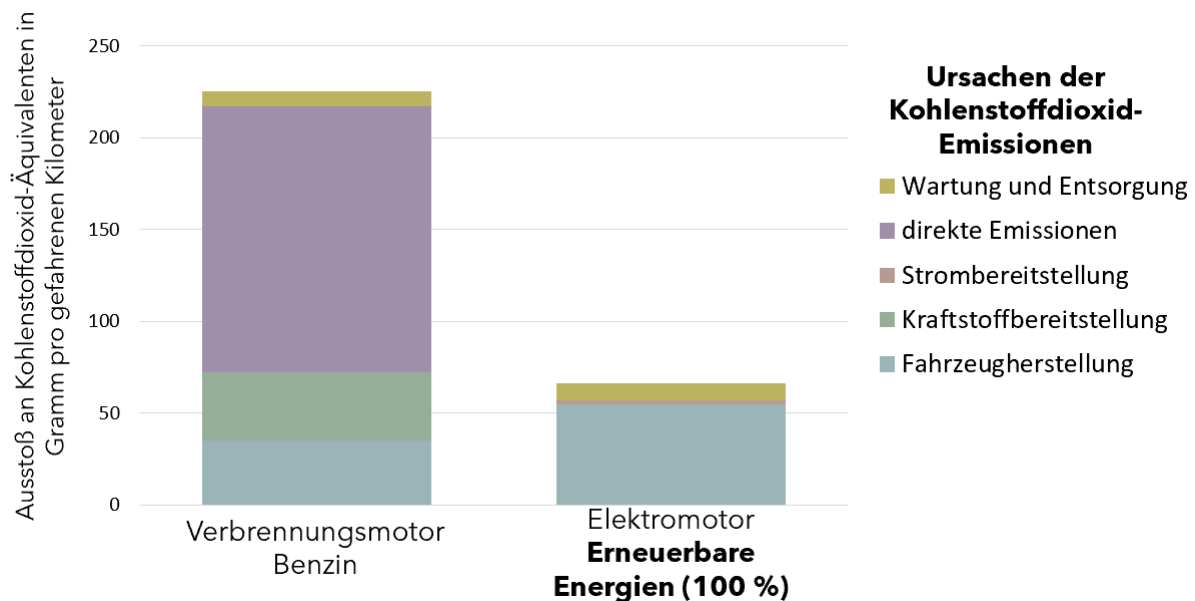
MODULTITEL

Inhaltsverzeichnis

1. Lösungen zum Überblick „E-Auto – ganz ohne Umweltbelastung Autofahren?“	1
2. Lösungen zur Einheit 1 „Der Akku – Rohstoffbeschaffung und Kritikalität“	2
3. Lösungen zu Einheit 2 „Recycling – aber wie?“	4

1. Lösungen zum Überblick „E-Auto – ganz ohne Umweltbelastung Autofahren?“

Zukunftsszenario 2040:



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

Erklärung: Energieanlagen der „Erneuerbaren Energien“ haben nur indirekte Emissionen im Anlagenbau und keine direkten Emissionen im Betrieb. 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.

2. Lösungen zur Einheit 1 „Der Akku – Rohstoffbeschaffung und Kritikalität“

Rohstoffsteckbriefe:

Lithium:

Erz: Festgestein (Lithium)

Abbauland: Australien, Chile, China, Argentinien

Verwendung: Lithium für die Herstellung von Kathoden, Gläsern oder Schmiermitteln, Lithiumhydroxid zur Herstellung von „leistungsstärkeren“ Kathoden (höhere Energiedichte), Lithiumsalze: Elektrolyte

Eigenschaft: Sehr leichtes Metall, hohe elektrochemische Potenzialdifferenz, ermöglicht hohe Energiedichte, gute Ionenleitfähigkeit in geeigneten Elektrolyten.

Kritikalität: kritisch (überschreitet sowohl das Versorgungsrisiko, als auch die wirtschaftliche Bedeutung in der Analyse der EU)

Recyclingquote: 0 %

Kohlenstoff (Grafit):

Erz: natürlicher Graphit aus dem Bergbau, synthetischer Graphit aus der thermochemischen Umwandlung von Kohlenstoffen, beispielsweise aus Nebenprodukten der Erdölraffination.

Abbauland: China, Madagaskar, Mosambik

Verwendung: Bleistiftminen, Anodenmaterial in Li-Ionen-Zellen (Graphitanode)

Eigenschaft: Hohe elektrische Leitfähigkeit, Schichtstruktur für Lithium-Interkalation, chemische Stabilität im Anodenpotenzialbereich

Kritikalität: kritisch

Recyclingquote: 3 %

Mangan:

Erz: Manganerz

Abbauland: Südafrika, Gabun, USA

Verwendung: Bestandteil von NMC-Kathoden, spinellartige Materialien (LMO – Lithium-Manganoxid), LFP-Varianten mit Mn-Zusätzen

Eigenschaft: Kostengünstiger Stabilisator in Kathoden, verbessert thermische/strukturelle Stabilität, trägt zu Leistungsfähigkeit und Sicherheit bei.

Kritikalität: kritisch

Recyclingquote: 16 %

Nickel:

Erz: Nickellaterite Nickelsulfide

Abbauland: Indonesien, Philippinen, Russland

Verwendung: in verschiedenen Münzen des US-Dollars, Britischen Pfunds und Euros; Kathodenchemie mit hohem Energiegehalt (NMC – Nickel-Mangan-Kobalt; NCA – Nickel-Kobalt-Aluminium)

Eigenschaften: steigender Nickelanteil erhöht Energiedichte, fördert hohe Energiedichte und Kapazität, gute Leitfähigkeit in Kathodenstrukturen; ermöglicht höhere Reichweiten bei E-Mobilität

Kritikalität: kritisch (Sonderfall: Auch wenn die Versorgungssicherheit bei Nickel nicht den kritischen Wert überschreitet und Nickel somit erstmal nicht als kritisch gilt, ist die wirtschaftliche Bedeutung derart hoch, dass Nickel dennoch von der EU als kritisch eingestuft wird.)

Recyclingquote: 19 %

Cobalt:

Erz: Cobalt, Cobalhydroxid

Abbauland: Kongo, Indonesien, Russland

Verwendung: Farbstoff (Kobaltblau), Batterien

Eigenschaft: Erhöht Zyklenfestigkeit, thermische Stabilität und Leistungsfähigkeit der Kathode; reduziert Degradation bei hoher Spannung

Kritikalität: kritisch

Recyclingquote: 22 %

3. Lösungen zu Einheit 2 „Recycling – aber wie?“

Auswirkungen der Verfahren:

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

Gewichten von Kriterien (Überprüfen der Option mit geringeren Auswirkungen für jedes Kriterium):

	Verfahren
Energiemenge	Hydrometallurgie
Kohlenstoffdioxid-Emissionen	Hydrometallurgie
Abwassermengen	Pyrometallurgie
Versauerung (vgl. saurer Regen)	Pyrometallurgie
Kosten	Hydrometallurgie
Effizienz (v.a. für Lithium)	Hydrometallurgie
Prozessschritte (Komplexität)	Pyrometallurgie