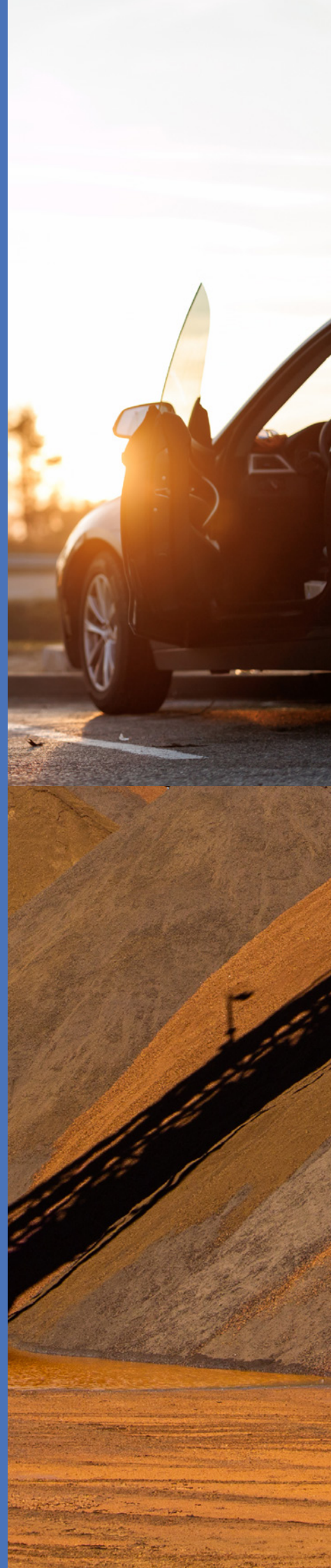


Mobilität in der
7-Tonnen-Zukunft

Zukunft des Autoverkehrs in Österreich: **Szenarien für den Ressourcenverbrauch**

Barbara Laa | Ulrich Leth



Impressum:

Dieser Bericht wurde vom Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der TU Wien erarbeitet.

Autor*innen: Barbara Laa, Ulrich Leth

Er ist Teil des Projekts „Mobilität in der 7-Tonnen-Zukunft“ der ARBEITSGEMEINSCHAFT ROHSTOFFE.

Diese ist ein Bündnis österreichischer NGOs mit dem Ziel, negative Auswirkungen des Abbaus mineralischer Rohstoffe durch deren Herstellung, Nutzung und Entsorgung zu verringern, sowie gleichzeitig positive Ansätze eines nachhaltigeren Umgangs mit diesen Materialien politisch und gesellschaftlich voranzutreiben. Konkret heißt dies, nationale, europäische und internationale Rohstoffpolitik mitzugestalten und zu einem bewussteren gesellschaftlichen Umgang mit mineralischen Rohstoffen beizutragen.

Nähere Informationen unter: www.ag-rohstoffe.at

Am Projekt arbeiten folgende Organisationen mit:

- Dreikönigsaktion – Hilfswerk der Katholischen Jungschar Österreichs, www.dka.at/rohstoffe
- Netzwerk Soziale Verantwortung (NeSoVe), www.nesove.at
- GLOBAL 2000, www.global2000.at
- Jane Goodall Institute Austria, www.janegoodall.at
- Südwind, www.suedwind.at
- VCO – Mobilität mit Zukunft, www.vcoe.at
- Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der TU Wien, www.tuwien.at/cee/transport/planning

Diese Publikation wurde mit finanzieller Unterstützung der Österreichischen Entwicklungszusammenarbeit erstellt. Für den Inhalt sind die Herausgeber*innen allein verantwortlich.

Gefördert durch die



Titelfotos: Wasserbauer/Dreikönigsaktion, istockphoto/bojanstory
Layout: Irene Fuchs – irenefuchs.at

Herausgeber, Medieninhaber und Verleger:
Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
TU Wien
Karlsplatz 13/230-1
1040 Wien

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier. Produziert nach den Richtlinien des Österreichischen Umweltzeichens.

Wien, September 2025

Inhalt



Lithiumfelder in der
Atacama-Wüste in Chile,
Südamerika



Eisenerz-Mine im „Eisernen
Viereck“ im Bundesstaat
Minas Gerais, Brasilien

Zusammenfassung	3
Einleitung und Aufgabenstellung	4
Vorgehensweise	5
Datenverfügbarkeit	5
Kritikalität von Rohstoffen	6
Rohstoffverbrauch im Verkehrssystem	6
Materialverbrauch von Infrastrukturen	9
Berechnung des Rohstoffbedarfs	9
Mobilitätsszenarien	11
Vergleich der Annahmen und Ergebnisse	14
Diskussion und Schlussfolgerungen	22
Referenzen	23

Zusammenfassung

Die verschiedenen Szenarien im Bericht zeigen deutlich, welche zentralen Hebel den Rohstoffverbrauch im Pkw-Verkehr bis 2050 maßgeblich beeinflussen. Anhand der modellierten Entwicklungen wird klar:

Die Elektrifizierung der Pkw-Flotte reduziert den Bedarf an fossilen Rohstoffen wie Erdöl, erhöht jedoch den Bedarf an kritischen Metallen wie Lithium, Nickel und Kobalt.

Anzahl der Fahrzeuge: Ein sinkender Motorisierungsgrad trägt wesentlich zur Reduktion des kumulierten Rohstoffverbrauchs bei, da jedes neue Fahrzeug einen erheblichen Materialeinsatz verursacht.

Das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung steht im Zusammenhang mit dem Motorisierungsgrad. Bei einem Umstieg auf öffentlichen Verkehr sowie Fuß- und Radverkehr werden insgesamt weniger Pkw benötigt. Durch eine Reduktion der Pkw-Fahrleistung wird außerdem der Energiebedarf gesenkt und somit auch der Rohstoffbedarf für die Energieherstellung.

Die Fahrzeuggröße ist einer der stärksten Einflussfaktoren. Szenarien mit einem höheren Anteil an kleineren Fahrzeugen führen zu deutlich geringerem Rohstoffbedarf, da sowohl Karosserie als auch Batterie kleiner dimensioniert sind.

Recycling ist ein entscheidender Hebel zur Reduktion des Primärrohstoffbedarfs. Eine frühzeitige und ambitionierte Umsetzung hoher Recyclingquoten führt zu einer deutlichen Entlastung bei kritischen Materialien.

Einleitung und Aufgabenstellung

Für das von der Austrian Development Agency geförderte Projekt „Mobilität in der 7-Tonnen-Zukunft“ sollen Szenarien entwickelt werden, die sich auf Pkw konzentrieren und unterschiedliche Entwicklungen der österreichischen Personenmobilität sowie den damit verbundenen Rohstoffverbrauch skizzieren. Der Projekttitel bezieht sich auf das in der österreichischen Kreislaufwirtschafts-Strategie (BMK, 2022) definierte Ziel, den Material-Fußabdruck bis 2050 auf maximal 7 Tonnen pro Kopf und Jahr zu senken.

Die Mobilitätswende und die Umstellung auf alternative Antriebssysteme, die für eine Dekarbonisierung des Verkehrs angesichts der Klimakrise notwendig sind, stellen die Gesellschaft vor erhebliche Herausforderungen. Diese betreffen nicht nur den technologischen Wandel, sondern auch die ökologischen und sozialen Probleme, die damit einhergehen. Der Abbau der für die Dekarbonisierung benötigten Rohstoffe steht in Zusammenhang mit Umweltzerstörung, hohem Wasserverbrauch, Landkonflikten und giftigen Abfällen, insbesondere beim Abbau von Lithium, Kobalt und Nickel. Zudem sind prekäre Arbeitsbedingungen, Kinderarbeit und Menschenrechtsverletzungen in den Abbauländern verbreitet. Zusätzlich verursacht der Abbau hohe CO₂-Emissionen und birgt geopolitische Risiken durch Abhängigkeiten von wenigen Förderländern. Es wird erwartet, dass der Bedarf nach kritischen Rohstoffen für die Elektromobilität und die Umstellung auf erneuerbare Energien in der Zukunft stark steigt. Die IEA (2024) prognostiziert bis 2030 eine Verdreifachung und bis 2040 eine Vervierfachung des Bedarfs.

In diesem Projekt erarbeiten wir Szenarien zur zukünftigen Entwicklung des Mobilitätsverhaltens sowie der Mobilitätspolitik in Österreich und verknüpfen diese mit Daten zum Rohstoffbedarf. Ziel ist es, die Entwicklung der Fahrzeugflotten und deren Auswirkungen auf den Rohstoffbedarf, einschließlich der Möglichkeiten und Quoten des Recyclings, abzubilden.

Vorgehensweise

In einem ersten Schritt wurden nationale, europäische und internationale Szenarien zur Entwicklung der Pkw-Flotten und dem dazugehörigen Verbrauch an Rohstoffen sowie zur Entwicklung des Mobilitätsverhaltens in Österreich gesammelt (z.B. Angelini et al., 2022; Bobba et al., 2020; De Blas et al., 2020; IEA, 2023; IEA, 2024; Öko-Institut (2017); UBA, 2023; UNEP, 2024; Wilke & Reckordt, 2024).

Bei der ersten Dialogveranstaltung (am 26.02.2024) fand ein vertiefter Austausch zu den geplanten Szenarien gemeinsam mit einer Expertin der Abteilung EU & Internationales der Arbeiterkammer Wien statt.

Bei der zweiten Dialogveranstaltung (am 17.06.2024, online via Zoom) wurden die Szenarien internationalen Expert*innen zum Thema Rohstoffabbau präsentiert.

Eine zusätzliche Diskussion zu der Verfügbarkeit von Daten für Österreich sowie ebenfalls zu den Szenarien fand in einem Onlinegespräch mit Vertreter*innen des Umweltbundesamts (UBA) am 22.03.2024 statt.

Aus der Literaturrecherche und dem gesammelten Feedback wurden vier Szenarien für das vorliegende Projekt festgelegt und berechnet. Zudem wurde dieser Bericht verfasst.

Datenverfügbarkeit

Ein zentrales Problem in der Analyse ist die unzureichende Verfügbarkeit genauer und vergleichbarer Daten sowie die Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen in der Materialzusammensetzung und dem Recycling. Für den Rohstoffbedarf von Fahrzeugen stellten die Untersuchungen des österreichischen Umweltbundesamts (UBA, 2021 & 2023) die Basis dar. Jedoch ist die Materialzusammensetzung zwischen fossilen und elektrischen Fahrzeugen in unterschiedlichen Kategorien aufgeschlüsselt, die einen direkten Vergleich schwierig machen. Internationale Analysen (wie bspw. von der IEA, 2022) nutzen ebenfalls verschiedene Bezugssysteme, was die Vergleichbarkeit weiter erschwert.

Die Entwicklung der Fahrzeugflotte spielt eine wesentliche Rolle und wird in den Szenarien oft als externe Annahme oder Vorbedingung für das Mobilitätsverhalten, wie etwa den Motorisierungsgrad, behandelt. Diese Entwicklung beeinflusst maßgeblich, wie stark sich die Verfügbarkeit und die Kosten von Fahrten verändern. Beispielsweise könnte die Kosteneinsparung durch einen günstigeren Strompreis zu einem Anstieg der gefahrenen Kilometer führen. Die gesammelten Daten und Informationen werden in diesem Bericht zusammengefasst und darauf basierend eingeschränkte Szenarien entwickelt. Diese Szenarien berücksichtigen die genannten Herausforderungen und versuchen, mögliche Entwicklungen abzubilden.

Nickelabbau in der
Nähe der Insel Wayag,
Raja Ampat, Indonesien

Kritikalität von Rohstoffen

Es gibt unterschiedliche Definitionen von kritischen Rohstoffen, die sich je nach Jahr und Autor*innen unterscheiden und unterschiedliche Aspekte berücksichtigen, zum Beispiel von der Internationalen Energieagentur (IEA) oder von der EU. Die Liste kritischer Rohstoffe (CRMs) für die EU aus dem Bericht „Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023“ (EC, 2023) bewertet den wirtschaftlichen Mehrwert und das Versorgungsrisiko der Rohstoffe in Europa. Effekte auf die Umwelt oder soziale Aspekte beim Abbau der Rohstoffe fließen nicht in die Bewertung ein. Dabei werden Kupfer und Nickel nicht als kritische Rohstoffe gewertet (bei der IEA hingegen schon), jedoch Bauxit (Erz mit Aluminiumanteil), das von der IEA nicht als kritisch berücksichtigt wird. In der EU-Verordnung 2024/1252, dem Critical Raw Materials Act (CRMA) (EU, 2024), werden alle genannten Metalle – Kupfer, Nickel, Aluminium und 31 weitere Rohstoffe – als kritisch eingestuft.

Im Zuge dieser Studie wurde der Bedarf an zusätzlichen Rohstoffen für Pkw auf Basis der Angaben vom österreichischen Umweltbundesamt (UBA), sowie der Bedarf an Rohöl und Rohstoffen für die Umstellung der Stromproduktion auf erneuerbare Energiequellen berücksichtigt. In den Ergebnissen werden die von der EU im CRMA als kritisch eingestuften Rohstoffe sowie der Bedarf für Eisen detaillierter dargestellt.



Rohstoffverbrauch im Verkehrssystem

Der Verbrauch von Rohstoffen im Verkehrssystem manifestiert sich an unterschiedlichen Stellen, wie etwa für die Fahrzeugkarosserien, Batterien, aber auch für die Energieherstellung bzw. als Treibstoff. Im Gesamtsystem braucht es außerdem für den Bau und die Instandhaltung von Infrastrukturen etwa Stahl für Brücken und Stahlbetonbauwerke, Sand für Zement und Beton. In dieser Studie liegt der Fokus jedoch auf Rohstoffen für die Pkw-Herstellung und den Antrieb.

Pkw – Konventionelle und Elektrofahrzeuge

Sowohl bei Elektrofahrzeugen als auch bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor machen Eisen (rund 700 bis 1060 kg pro Fahrzeug) und Aluminium (etwa 150 bis 200 kg) den größten Anteil der verbauten metallischen Rohstoffe aus. Während Eisen von der EU derzeit nicht als kritischer Rohstoff eingestuft wird, sind mit dessen Abbau jedoch ökologische und

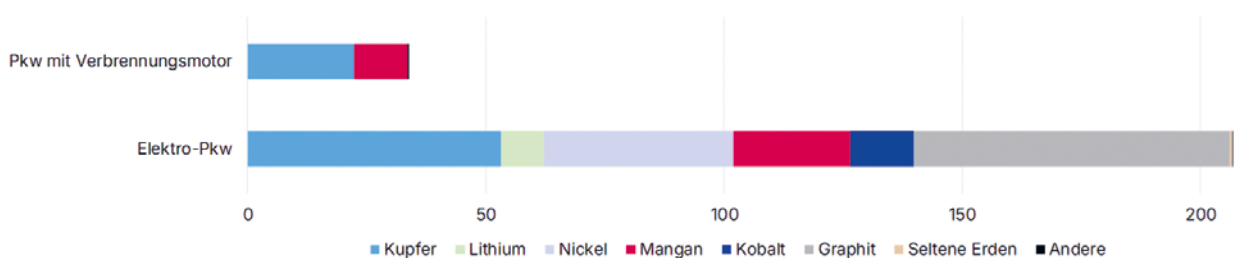
soziale Belastungen verbunden, beispielsweise beim Eisenerzabbau in Brasilien (DKA, 2022).

Konventionelle Fahrzeuge benötigen zudem große Mengen an Benzin oder Diesel, die aus Rohöl gewonnen werden. Die Förderung dieses Rohstoffs geht ebenfalls mit erheblichen Umwelt- und sozialen Problemen einher. Für die Herstellung von 45 Litern Kraftstoff werden etwa 100 Liter Rohöl benötigt.

Obwohl für den Betrieb von Elektro-Pkw keine fossilen Brennstoffe eingesetzt werden, erfordert der Bau dieser Fahrzeuge im Vergleich zu Pkw mit Verbrennungsmotor den Einsatz zusätzlicher oder größerer Mengen bestimmter Rohstoffe. Dazu gehören insbesondere signifikante Mengen an Lithium, Kobalt, Mangan und Nickel für die Lithium-Ionen-Batterien, sowie Seltenerdoxide für den Elektromotor. In Abbildung 1 ist der Bedarf an Mineralien für konventionelle, E-Pkw und für die Stromproduktion angeführt.

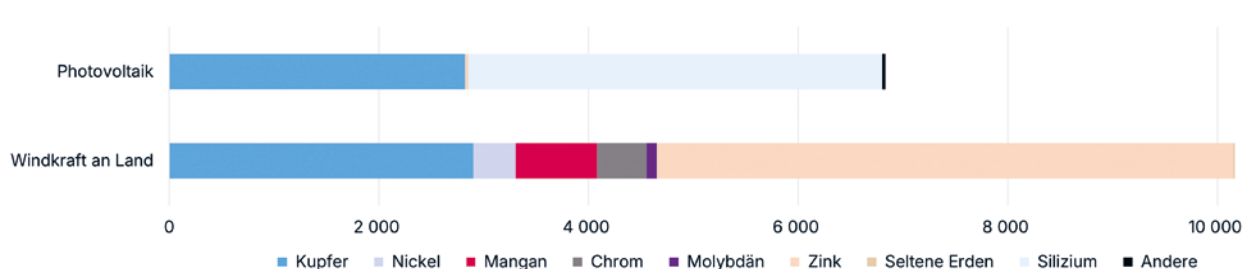
Abbildung 1: Mineralien in ausgewählten Arten von Fahrzeugen und Stromproduktion (IEA, 2022)

Pkw (kg/Fahrzeug)



Ohne Darstellung von Eisen und Aluminium

Stromproduktion (kg/MW)



Ohne Darstellung von Eisen und Aluminium

Die benötigten Rohstoffe variieren auch je nach Art der Batterie. Derzeit dominieren zwei Batterie-Typen den Markt: In Europa werden vor allem NMC811-Batterien (Lithium-Ionen-Batterien mit Kathoden aus Nickel-Mangan-Kobaltoxid) eingesetzt, während in Asien häufig LFP-Batterien (Lithium-Ionen-Batterien mit Kathoden aus Eisenphosphat) verwendet werden. Die weitere Entwicklung von Akkumulatoren-Technologien ist noch unsicher. Es ist möglich, dass einige kritische Rohstoffe in Zukunft reduziert werden, während vermehrt auf andere Rohstoffe gesetzt wird, die eventuell neue Herausforderungen mit sich bringen. Gleichzeitig wird erwartet, dass Batterien effizienter werden, was zu einer Verringerung des Rohstoffbedarfs pro Einheit Leistung führen könnte. Laut einer Prognose des VCÖ (2022) könnte der Rohstoffbedarf für Akkus von 2020 bis 2030 um etwa 50 % sinken.

Der Verbrauch von Kupfer ist aufgrund von elektrischen Komponenten und Kabeln für E-Pkw mehr als doppelt so groß wie für konventionelle Pkw. Laut UBA (2023) enthält ein durchschnittlicher E-Pkw etwa 115 kg Kupfer, 105 kg Nickel

und mehr als 50 kg Graphit. Die Fahrzeuggröße spielt eine wichtige Rolle beim Rohstoffbedarf, da auch die Batterie mit zunehmendem Gewicht des Fahrzeugs größer werden muss. Darüber hinaus ist für den Übergang zur Elektromobilität und die Erreichung der Klimaneutralität auch eine verstärkte Kapazität der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen erforderlich, was wiederum den Bedarf an Rohstoffen steigert. Für den Bau von Photovoltaik- und Windkraftanlagen werden unter anderem Rohstoffe wie Eisen, Aluminium, Kupfer, Nickel und Zink benötigt.

Recycling

Gemäß der EU-Verordnung 2023/1542 gelten gewisse Raten bezüglich Recycling, die erreicht werden müssen. Dabei unterschieden werden Recyclingraten von alten Batterien (siehe Tabelle 1) und der Anteil an sekundären (recycelten) Rohstoffen, der in neue Batterien eingebaut werden muss, dargestellt in Tabelle 2. In Österreich wurden im Jahr 2021 bereits 97 % der Batterien von E-Pkw recycelt (VCÖ, 2022).

Tabelle 1: Recyclingquoten für Elektrofahrzeug-Batterien durch EU vorgegeben
(EU-Verordnung 2023/1542, Anhang XII, Teil C)

	Bis Ende 2027	Bis Ende 2031
Kobalt	90 %	95 %
Kupfer	90 %	95 %
Blei	90 %	95 %
Lithium	50 %	80 %
Nickel	90 %	95 %

Tabelle 2: Anteil an recyceltem Material in Batterien durch EU vorgegeben
(EU-Verordnung 2023/1542, Artikel 8 (2) & (3))

	Bis (August) 2031	Bis (August) 2036
Kobalt	16 %	26 %
Blei	85 %	85 %
Lithium	6 %	12 %
Nickel	6 %	15 %

Materialverbrauch von Infrastrukturen

Verkehrsinfrastrukturen binden eine große Masse an Material und sind in der Regel langlebig, jedoch bestimmen sie auch maßgeblich das Verkehrsverhalten. Virág (2023) gibt an, dass Verkehrsinfrastrukturen weltweit etwa ein Drittel des gesamten Materialbestands ausmachen. Für ihre Instandhaltung und Erweiterung werden jährlich 10 % der globalen Ressourcen sowie ein Fünftel der globalen nichtmetallischen Mineralien benötigt (Virág, 2023, S. 21).

In einer Studie zu Wien (Virág et al. 2022) haben die Autor*innen gezeigt, dass die Materialbestände und -flüsse im Verkehrssystem in Wien zu 70 % (von gesamt 101 Millionen Tonnen) dem motorisierten Individualverkehr zuzuordnen sind. Die Hauptmaterialien dabei sind Beton, Asphalt und Stahl, wofür die Rohstoffe Eisen und Sand benötigt werden.

In der vorliegenden Studie zu Pkw-Mobilität in der „7-Tonnen-Zukunft“ liegt der Fokus auf dem Rohstoffverbrauch von Fahrzeugen und Antrieben, nicht auf Infrastrukturen. Wir möchten jedoch festhalten, dass der Rohstoffverbrauch für Infrastrukturen ein wesentlicher Faktor ist, der durch die Fokussierung auf privaten Pkw-Verkehr und durch die Erweiterung der Infrastrukturen für diesen (wie beispielsweise durch neue Straßen, Brücken, Parkplätze und Tiefgaragen) verschärft wird. Durch Umstieg auf nachhaltigere Verkehrsmittel, die auch die Straßeninfrastrukturen schonen, könnten jedoch auch Einsparungen erzielt werden. Eine Studie von Haas et al. (2025) zeigt beispielsweise, dass der Verzicht auf die Erweiterung des Straßennetzes die größte Reduktion des Gesamtmaterialverbrauchs in Österreich bewirken würde.

Berechnung des Rohstoffbedarfs

Für die Szenarien in dieser Studie wurde nur der Rohstoffbedarf für die Pkw-Personenmobilität betrachtet. Der Bedarf an Rohstoffen für Infrastrukturen sowie für den Güterverkehr wird nicht berücksichtigt. Rohstoffe für Energieherstellung und Fahrzeuge sind Teil der Berechnung, wobei bei den Fahrzeugen nur jener Anteil berücksichtigt wird, der in den Fahrzeugen verbaut ist. Bei fossil betriebenen Pkw wird für den Antrieb nur das erforderliche Erdöl berücksichtigt, bei E-Pkw werden zudem Durchschnittswerte der erforderlichen Rohstoffe für die Stromproduktion durch Photovoltaik und Windkraft, basierend auf IEA (2024, S. 26), berücksichtigt.

Ergebnisse werden für die Zeitpunkte 2030 und 2050 dargestellt. Sie zeigen den kumulierten Rohstoffbedarf von 2025 bis 2030 bzw. von 2025 bis 2050 für die Herstellung neuer Fahrzeuge sowie den Antrieb aller Fahrzeuge in der Flotte.

Rohstoffbedarf Pkw-Herstellung

Der Bedarf an Rohstoffen je Pkw basiert auf den Angaben der Massen von Pkw mit Verbrennungsmotor in UBA (2021, Tabelle 3, S. 15) und für E-Pkw nach Angaben der Massen in UBA (2023, Tabelle 1, S. 12). Unterschieden wird in fossil betriebene und batterieelektrische Fahrzeuge sowie nach Fahrzeugsegment (Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse). Die Skalierung des Rohstoffbedarfs wurde vereinfachend durch die Gewichtsangaben je Fahrzeugsegment in UBA (2023) angenommen. Dabei wurde für das Segment Kleinwagen ein Gesamtgewicht von 1200 kg angenommen, für Mittelklasse 1450 kg und Oberklasse 2200 kg. Hybridfahrzeuge werden nicht extra ausgewiesen, sondern als E-Pkw klassifiziert, da sie ebenfalls rohstoffrelevante Batterien beinhalten. Brennstoffzellenfahrzeuge, die mit Wasserstoff betrieben werden, werden nicht berücksichtigt.



©freepik

Erneuerbare Energien wie Photovoltaik und Windkraft sind zentral für die Elektromobilität und Klimaneutralität. Doch ihr Ausbau erfordert wertvolle Rohstoffe, wie Eisen, Aluminium, Lithium, Kupfer oder Nickel.

Rohstoffbedarf Stromproduktion

Die Annahmen zum Rohstoffbedarf für die Stromproduktion basieren auf IEA (2021) (siehe auch Abbildung 1), wobei nur die Werte für Photovoltaik (PV) – und Windkraftanlagen an Land (zu je 50 %) herangezogen wurden. Weitere Annahmen sind der Nutzungsgrad von 25 % für PV und 35 % für Windkraftanlagen sowie eine Lebensdauer von jeweils 25 Jahren (World Nuclear Association, 2024). Daraus ergeben sich die Bedarfe an Rohstoffen in Tonnen pro kWh. Für den Antrieb von E-Pkw wurde ein kumulierter Energieaufwand von 0,628 kWh/Fzg-km angenommen, basierend auf den Angaben von UBA (2024) in der Kategorie „BEV (Ö. Stromaufbringung inkl. Importen)“.

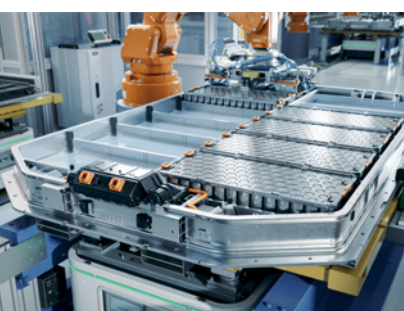


©freepik/vichie81

Raffinerien verarbeiten Rohöl zu Benzin und Diesel. Für 45 Liter Kraftstoff werden rund 100 Liter Rohöl verbraucht. Auch die Förderung und Verarbeitung dieses Rohstoffs hat massive Auswirkungen und muss in die Berechnung einfließen.

Rohöl

Es wurde angenommen, dass aus 100 Litern Rohöl etwa 24 Liter Benzin und 21 Liter Diesel hergestellt werden. Erdöl hat eine Dichte von etwa 0,8617 t/m³. Bei einem Verbrauch von ca. 7,4 Liter pro 100 km bedeutet das einen Bedarf von ungefähr 0,1345 kg Rohöl pro Fahrzeug-km.



©istockphoto/SweetBunFactory

Batterien von Elektrofahrzeugen enthalten derzeit signifikante Mengen an Lithium, Kobalt, Mangan und Nickel. Die EU-Batterien-Verordnung sieht Quoten für das Recycling von Altbatterien und den Anteil an recyceltem Material in Batterien vor. Die Vorgaben könnten früher als gefordert erfüllt werden.

Recycling

In Bezug auf Recycling wurden die Vorgaben der EU berücksichtigt, jedoch davon ausgegangen, dass die Recyclingraten für Batterien bereits früher erreicht werden bzw. übererfüllt werden. Die Annahmen stützen sich dabei auf die Annahmen der Studie von Giljum et al. (2025). Dabei sinkt der Bedarf nach Primärrohstoffen von Mangan und Kobalt auf je 7 % im Jahr 2040, bei Lithium auf 22 % und bei Nickel auf 10 %. Diese Werte bleiben bis 2050 konstant. Bei den anderen Rohstoffen bleibt der erforderliche Anteil an Primärrohstoffen über den Betrachtungszeitraum gleich. In den Szenarien mit erhöhter Effizienz (Szenario 1b und 3) werden die Recyclingwerte bereits im Jahr 2036 erreicht. Eine Erhöhung der Energiedichte von Batterien ist nicht direkt berücksichtigt, kann jedoch durch die hohen Recyclingraten kompensiert werden.

Mobilitätsszenarien

Im Projektteam und im Austausch mit Gästen in der ersten Dialogveranstaltung wurden vier Szenarien erarbeitet. Die Szenarien unterscheiden sich in der Entwicklung des Mobilitätsverhaltens, des Motorisierungsgrades, der

Elektrifizierung der Fahrzeugflotte, der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte aus unterschiedlich großen Fahrzeugen sowie der Recyclingquote. Eine Übersicht zu den Szenarien ist in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Übersicht Szenarien

SZENARIO R Referenz	SZENARIO 1a Green Growth	SZENARIO 1b Green Growth & Effizienzsteigerung	SZENARIO 2 Transition 2040	SZENARIO 3 Suffizienz
• Aktuelle Trends und Prognosen • Bestehende Gesetze und Regelungen	• Vermehrter Kauf von E-Pkw • Fortschreibung aktueller Trend zu größeren Fahrzeugen	• Vermehrter Kauf von E-Pkw • Trend zu kleineren Fahrzeugen • Mehr Recycling	• Klimaneutralität 2040 • Anfänglich vermehrter Kauf von E-Pkw, danach Reduktion • Stark verändertes Mobilitätsverhalten	• Stark verändertes Mobilitätsverhalten • Trend zu kleineren Fahrzeugen • Mehr Recycling

Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Veränderung des Mobilitätsverhaltens (das die jährlich mit dem Pkw zurückgelegten Kilometer beeinflusst sowie die Entscheidung ein neues Fahrzeug zu kaufen), der Entwicklung der Fahrzeugflotten in Bezug auf Anteil und Neuzulassungen von E-Pkw und Fahrzeugsegmente sowie in Bezug auf die Recyclingraten. Die Annahmen zu den einzelnen Szenarien werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

SZENARIO R: **Referenz**

Beim Referenzszenario wird vorwiegend auf aktuelle Trends und bestehende rechtliche Rahmenbedingungen zurückgegriffen, in Bezug auf das Mobilitätsverhalten und die Entwicklung der Fahrzeugflotte auf die WEM-Szenarien des Umweltbundesamts (siehe Angelini et al., 2022). Da die Prognosen nur bis 2040 reichen, wurden die Pfade bis ins Jahr 2050 extrapoliert. Das Referenzszenario geht von einem Anstieg der gesamten Pkw-Neuzulassungen auf etwa

350 000 Pkw pro Jahr ab 2035 aus und bleibt dann konstant. Die 350 000 Pkw entsprechen in etwa den Neuzulassungen der Jahre vor 2020. Für die Durchsetzung mit E-Pkw wurde vereinfachend ein linearer Anstieg zwischen dem Wert der Neuzulassungen 2024 der Statistik Austria (2024) und dem Zielwert 2035 (100 % E-Pkw) angenommen. Der Anteil der fossilen Pkw an den Neuzulassungen sinkt gegengleich linear auf Null bis 2035. Der Anteil der Oberklasse Pkw an Neuzulassungen steigt gemäß aktuellem Trend bis ins Jahr 2030 an und wird dann bei 74,5 % gedeckelt. Der Anteil der Mittelklasse-Pkw wird mit 8,25 % als konstant angenommen, daher sinkt der Anteil der Kleinwagen gegenläufig zum Anstieg der Oberklasse-Pkw. Die Fahrleistung (die zurückgelegten Fahrzeug-km) steigt im Vergleich 2025 um 16 % bis 2050 an. Die Aufteilung der Fahrzeug-km auf unterschiedliche Antriebsformen und Größen entspricht dem Anteil der jeweiligen Pkw-Art in der Flotte. Die Recyclingquoten basieren auf den Annahmen von Giljum et al. (2025), wie oben beschrieben.

SZENARIO 1A UND 1B: „Green growth“

Im Szenario „Green growth“ steigen die Neuzulassungen von E-Pkw im Vergleich zum Referenzszenario rascher an, auf 400 000 Neuzulassungen im Jahr 2030, und erhöhen sich auch nach 2040 noch leicht, bis etwa 440 000 im Jahr 2050. Dieser Anstieg geht jedoch nur auf zusätzliche E-Pkw zurück, die Entwicklung von Neuzulassungen fossiler Pkw ist dieselbe wie im Referenzszenario. In Bezug auf die Fahrzeugsegmente steigt der Anteil an Oberklasse-Pkw (wie im Referenzszenario) im derzeitigen Trend an und wird dann als stabil angenommen. Beim Mobilitätsverhalten stellen sich keine großen Änderungen ein. Es könnte zu Rebound Effekte kommen, durch die sich die Pkw-Nutzung erhöht. Im Szenario wird jedoch von derselben Entwicklung der zurückgelegten Fahrzeug-km wie im Referenzszenario ausgegangen.

Das Unter-Szenario 1b berücksichtigt eine andere Entwicklung bei den Fahrzeugsegmenten und im Recycling. Es wird vermehrt auf kleinere Fahrzeuge gesetzt, wodurch der Anteil der Oberklasse-Pkw an den Neuzulassungen ab dem Jahr 2025 um 2 % jährlich sinkt und eine gegenläufige Entwicklung bei den Kleinwagen angenommen wird. Die Recyclingquoten für Mangan, Kobalt, Lithium und Nickel werden schon früher (2036 statt 2040) erreicht.

SZENARIO 2: Transition 2040

Das Szenario 2 „Transition 2040“ steht im Einklang mit dem Transition Mobility 2040 Szenario des Umweltbundesamts (Angelini et al., 2022), in dem untersucht wurde, durch welche Maßnahmen das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 im Verkehrssektor erreicht werden kann. Dabei wurde angenommen, dass ab 2040 quasi nur noch CO₂-neutrale Fahrzeuge in der Flotte verfügbar sein dürfen und diese mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen in Österreich betrieben werden. Dazu werden bis 2030 nur noch emissionsfreie Pkw zugelassen und die Neuzulassungen müssen ab 2030 jährlich auf

etwa 400 000 ansteigen. Im Szenario wird angenommen, dass die Neuzulassungen ab dem Jahr 2036 wieder sinken – auf 200 000 Neuzulassungen im Jahr 2050. Zusätzlich zu dieser raschen Durchsetzung mit E-Pkw verändert sich das Mobilitätsverhalten stark. Im Szenario wird angenommen, dass der Anteil der im Personenverkehr mit Pkw zurückgelegten Kilometer von 69 % im Jahr 2020 auf 54 % im Jahr 2040 sinkt, während die Anteile des öffentlichen Verkehrs und der aktiven Mobilität (Fuß- und Radverkehr) steigen. Solch tiefgreifende Veränderungen sind jedoch nur durch gezielte politische Maßnahmen erreichbar, die den Umstieg auf alternative Verkehrsmittel fördern und gleichzeitig den Pkw-Verkehr unattraktiver machen. Dazu zählen unter anderem der Ausbau des öffentlichen Verkehrs, eine deutlich verbesserte Infrastruktur für Fuß- und Radverkehr sowie preisliche und ordnungspolitische Instrumente zur Einschränkung des motorisierten Individualverkehrs. Die Pkw-Fahrleistung sinkt daher von 2025 bis 2050 um 16 %. Werte, die über das Jahr 2040 hinausgehen, wurden extrapoliert. Die Entwicklung der Fahrzeugsegmente sowie der Recyclingquoten wurde gleich wie im Referenzszenario angenommen.

SZENARIO 3: Suffizienz

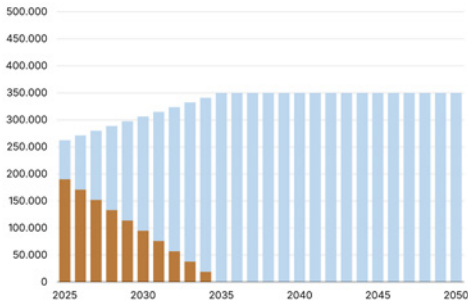
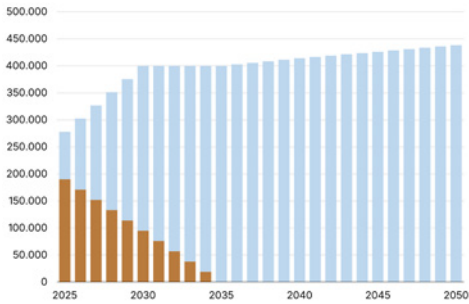
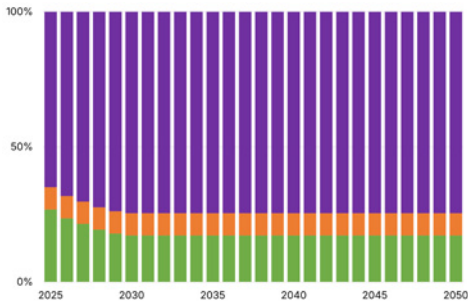
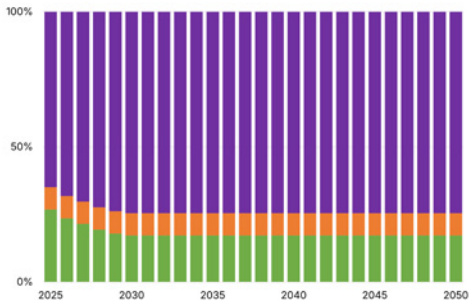
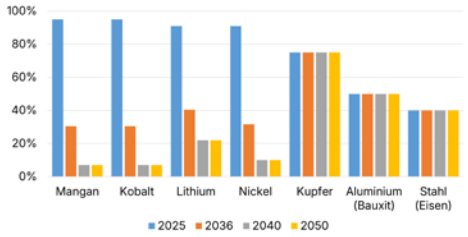
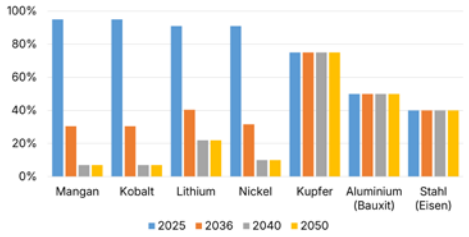
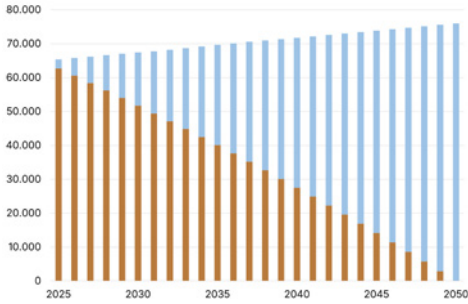
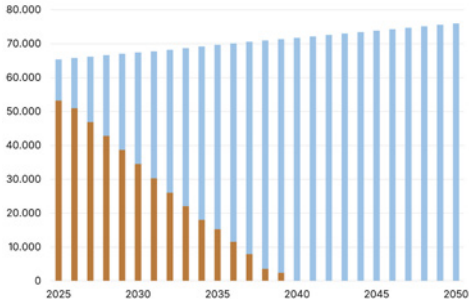
Im Szenario 3 „Suffizienz“ wurde an jenen Schrauben gedreht, die eine weitere Minimierung des Rohstoffbedarfs ermöglichen würden. Im Vergleich zu den anderen Szenarien ändert sich das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung deutlich. Die mit dem Pkw zurückgelegten Kilometer reduzieren sich im Vergleich zu 2025 um 22 % im Jahr 2050. Basis dafür sind die Berechnungen von Laa (2025) zu einer „nachhaltigen Mobilitätsgarantie“ bei der im sogenannten Szenario „Ciao MIV“ weitreichende Maßnahmen eingeführt werden, um die Nutzung des privaten Pkw-Verkehrs zu reduzieren. Diese betreffen etwa den Ausbau des öffentlichen Verkehrs in ganz Österreich, die Attraktivierung der aktiven Mobilität, Raumplanung für kürzere Wege und restriktive Maßnahmen für

den Pkw-Verkehr (niedrigere Tempolimits und eine fahrleistungsabhängige Maut). In Szenario 3 ist der Motorisierungsgrad rückläufig, die Neuzulassungen steigen bis 2035 auf 350 000 Pkw pro Jahr leicht an und sinken dann auf das Niveau von 200 000 Pkw im Jahr 2050. In Bezug auf Recycling und die Aufteilung der Neuzulassungen auf unterschiedliche Fahrzeugsegmente werden dieselben Annahmen wie bei Szenario 1b getroffen, also deutlich stärker auf kleinere Fahrzeuge gesetzt und früher größere Anteile an Sekundärrohstoffen genutzt.

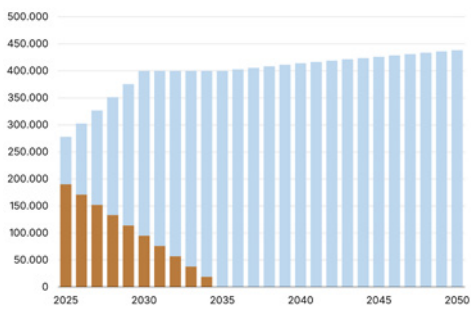


Das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung steht im Zusammenhang mit dem Motorisierungsgrad. Bei einem Umstieg auf öffentlichen Verkehr sowie Fuß- und Radverkehr werden insgesamt weniger Pkw benötigt. Durch eine Reduktion der Pkw-Fahrleistung – wie im Suffizienz-Szenario (–22% bis 2050) – wird außerdem der Energiebedarf gesenkt und somit auch der Rohstoffbedarf für die Energieherstellung.

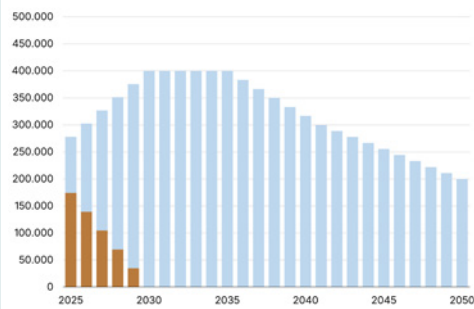
Tabelle 3: Vergleich der Annahmen

	SZENARIO R Referenz	SZENARIO 1A Green growth
Jährliche Neuzulassungen ■ Neuzulassungen E-Pkw ■ Neuzulassungen fossil		
Anteil je Fahrzeugsegment ■ Oberklasse ■ Mittelklasse ■ Kleinwagen		
Recycling Anteil Bedarf an Primärrohstoffe		
Entwicklung Verkehrsleistung ■ Fahrzeug-km mit E-Pkw (Mio. km) ■ Fahrzeug-km mit fossilen Pkw (Mio. km)		
Veränderung der Fahrzeug-km von 2025 bis 2050	+16%	+16%

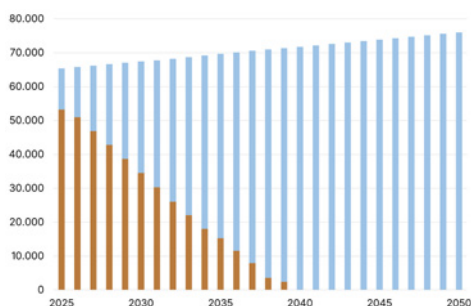
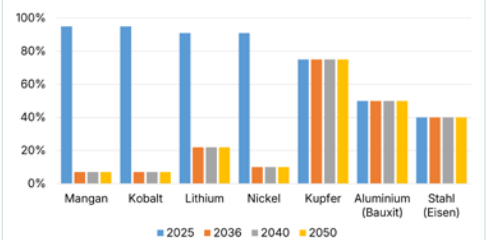
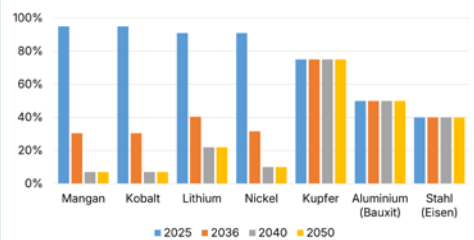
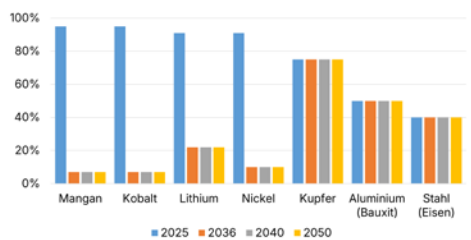
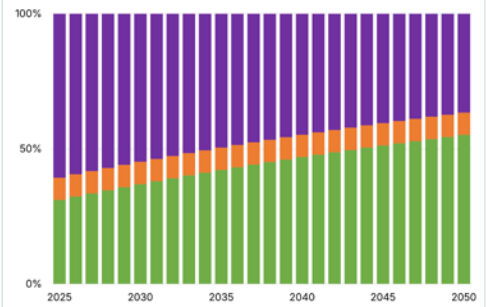
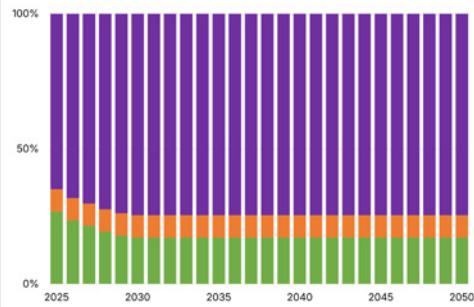
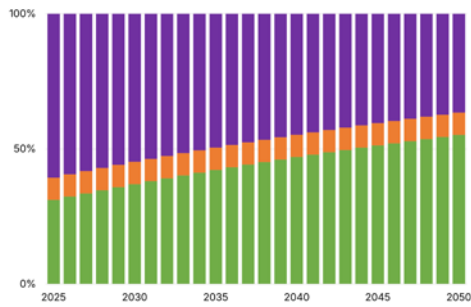
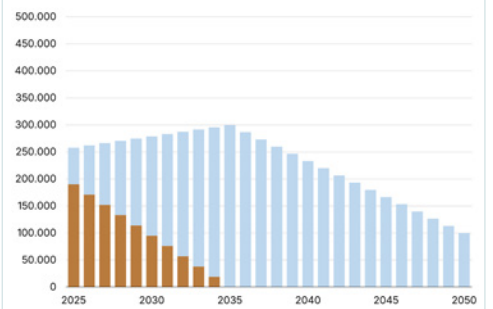
SZENARIO 1B
Green growth & Effizienzsteigerung



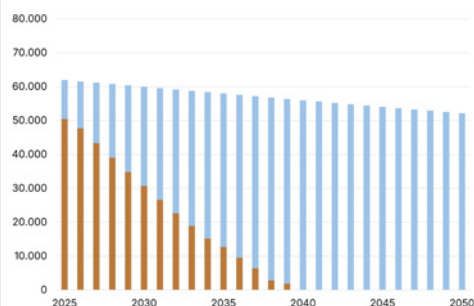
SZENARIO 2
Transition 2040



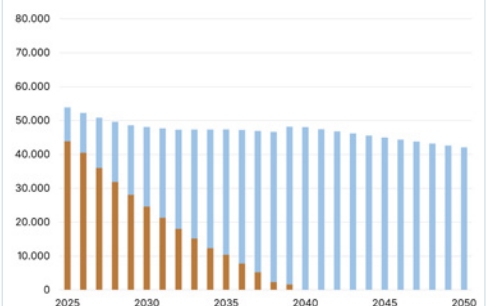
SZENARIO 3
Suffizienz



+16%

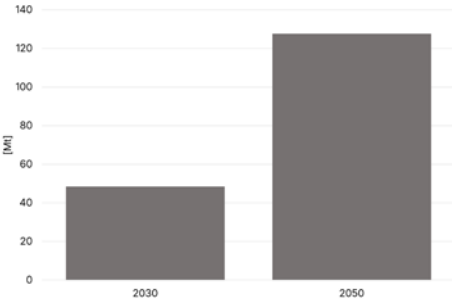
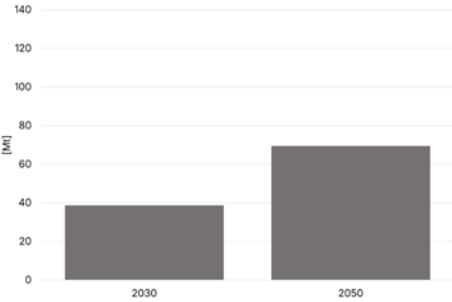
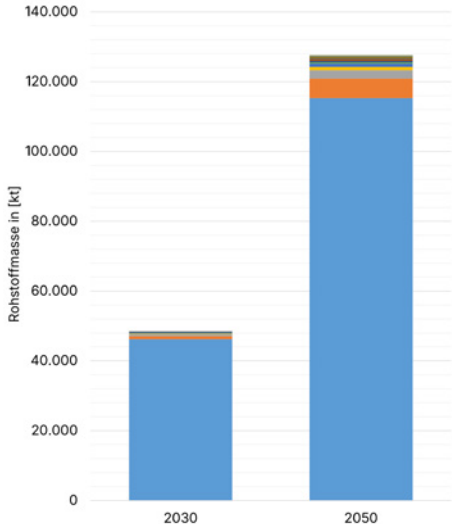
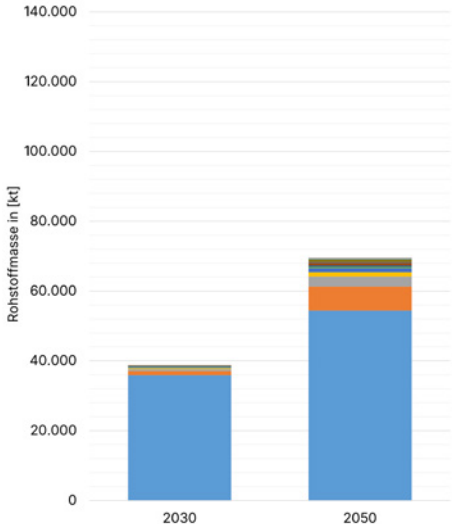
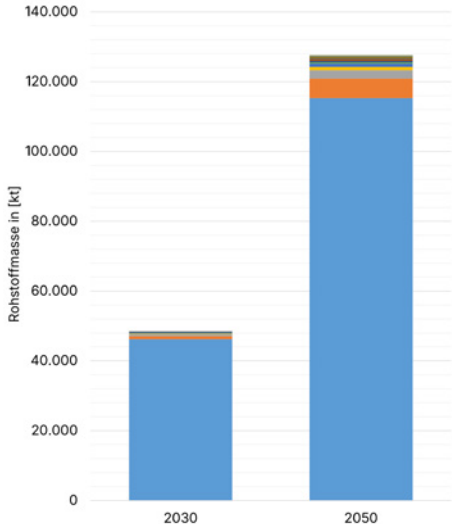
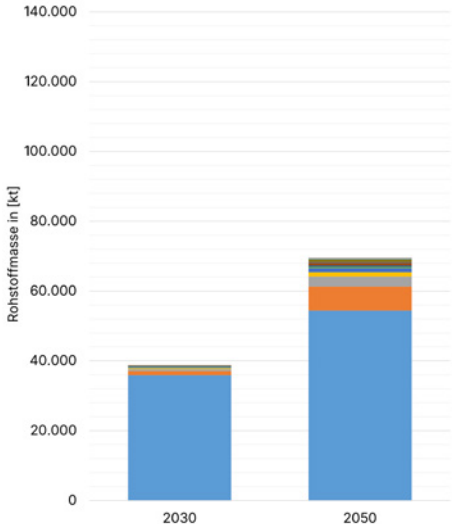


-16%

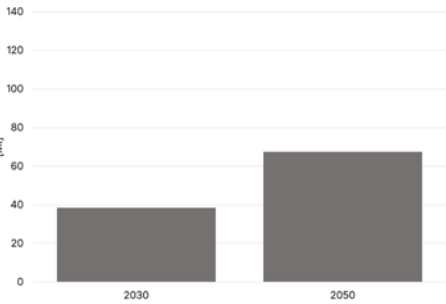


-22%

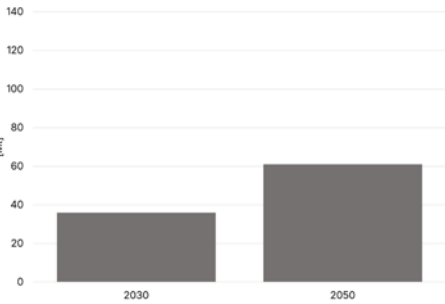
Tabelle 3: Vergleich der Annahmen

	SZENARIO R Referenz	SZENARIO 1A Green growth												
Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt] Kumulierter Zuwachs von 2025 bis 2030 bzw. von 2025 bis 2050	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~48</td></tr><tr><td>2050</td><td>~128</td></tr></table>	Jahr	Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt]	2030	~48	2050	~128	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~38</td></tr><tr><td>2050</td><td>~68</td></tr></table>	Jahr	Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt]	2030	~38	2050	~68
Jahr	Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt]													
2030	~48													
2050	~128													
Jahr	Gesamtmasse Rohstoffbedarf [Mt]													
2030	~38													
2050	~68													
Rohstoffbedarf nach Material [kt] Indium Tellur Zirkon PGM (Platin Group Metals) Tantal Gold Silber Seltene Erden Silikon Carbon Titan Sauerstoff Molybdän Kobalt Magnesium Lithium Textilien Zink Mangan Chrom Glas Graphit Lack und andere Nickel Kupfer Aluminium Plastikteile/Gummi/Kunststoff Eisen Rohöl <td><table><tr><th>Jahr</th><th>Rohstoffmasse in [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~48,000</td></tr><tr><td>2050</td><td>~128,000</td></tr></table></td> <td><table><tr><th>Jahr</th><th>Rohstoffmasse in [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~38,000</td></tr><tr><td>2050</td><td>~68,000</td></tr></table></td>	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Rohstoffmasse in [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~48,000</td></tr><tr><td>2050</td><td>~128,000</td></tr></table>	Jahr	Rohstoffmasse in [kt]	2030	~48,000	2050	~128,000	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Rohstoffmasse in [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~38,000</td></tr><tr><td>2050</td><td>~68,000</td></tr></table>	Jahr	Rohstoffmasse in [kt]	2030	~38,000	2050	~68,000
Jahr	Rohstoffmasse in [kt]													
2030	~48,000													
2050	~128,000													
Jahr	Rohstoffmasse in [kt]													
2030	~38,000													
2050	~68,000													

SZENARIO 1B
Green growth & Effizienzsteigerung



SZENARIO 2
Transition 2040



SZENARIO 3
Suffizienz

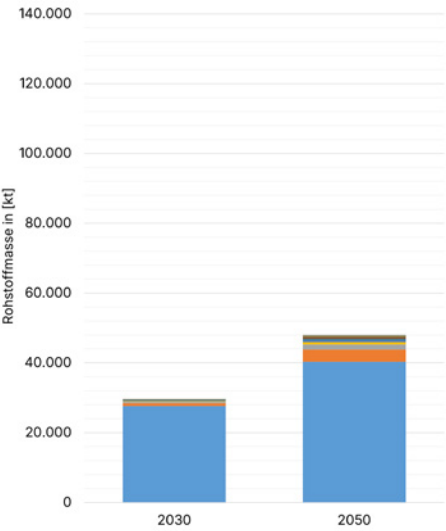
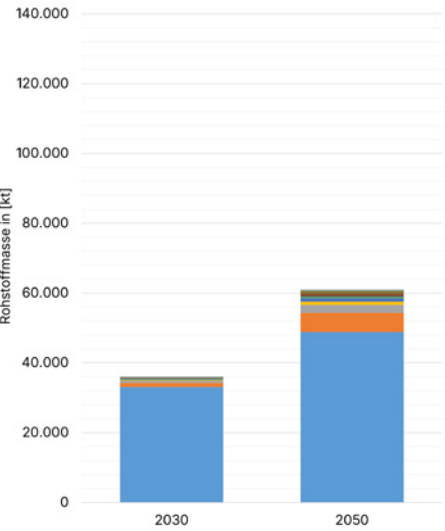
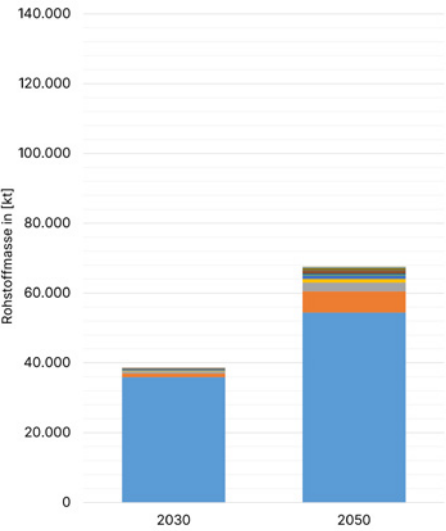
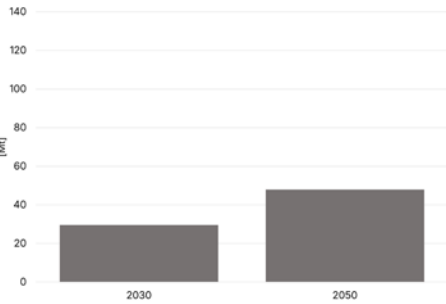


Tabelle 4: Vergleich der Ergebnisse

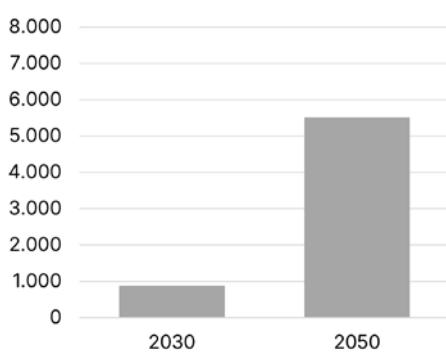
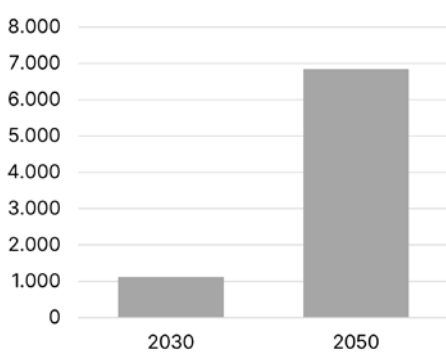
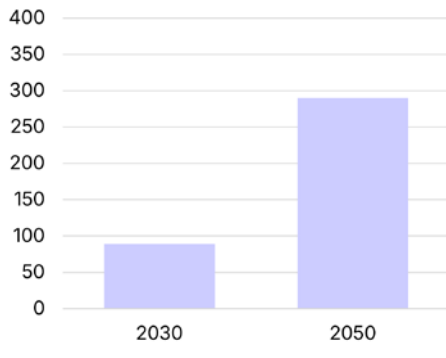
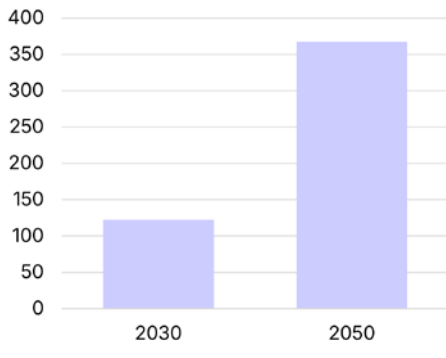
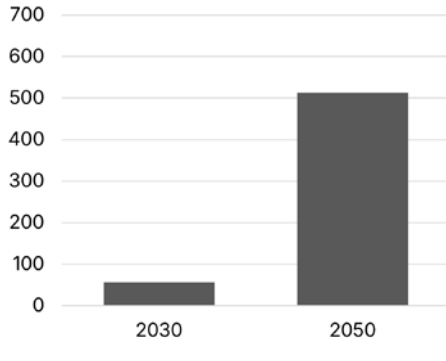
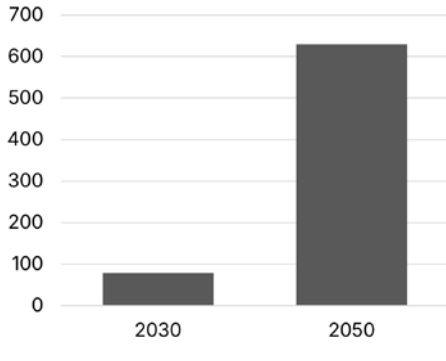
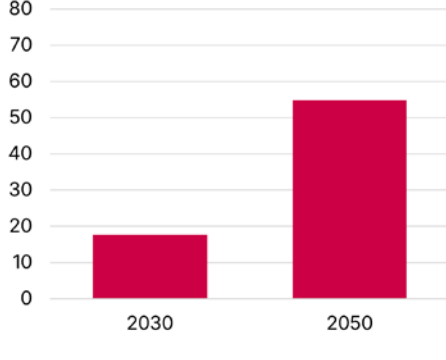
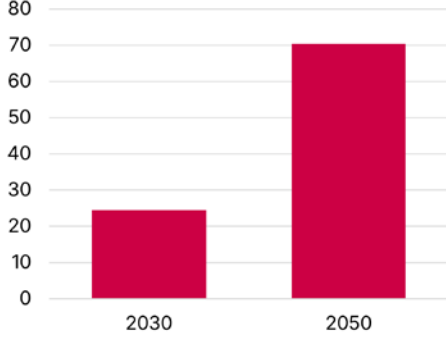
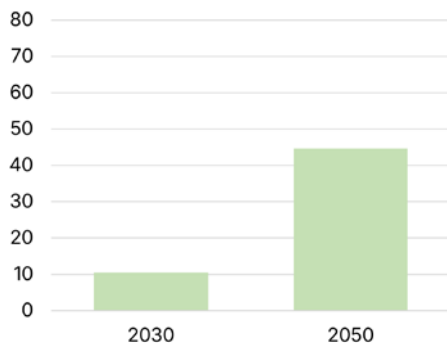
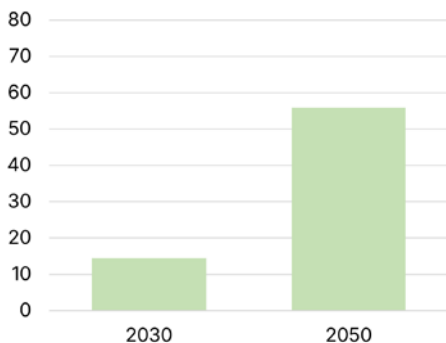
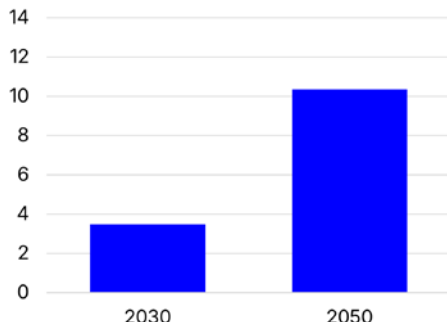
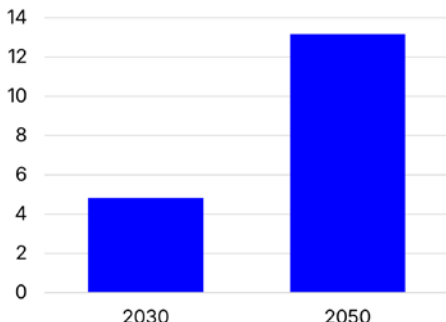
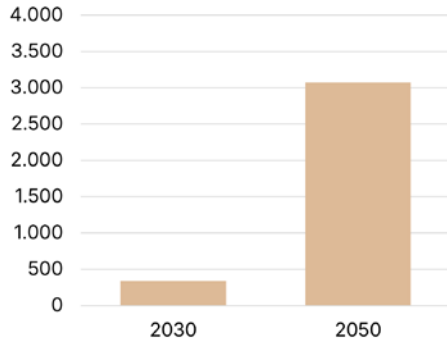
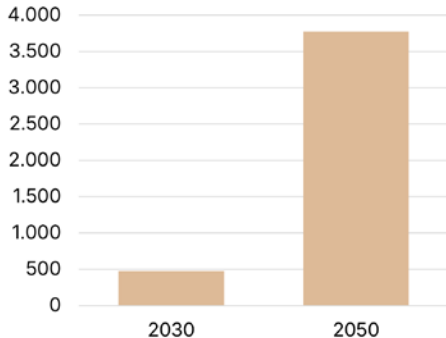
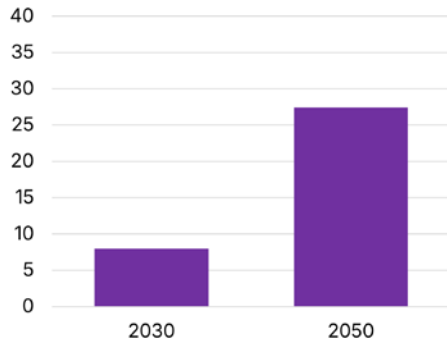
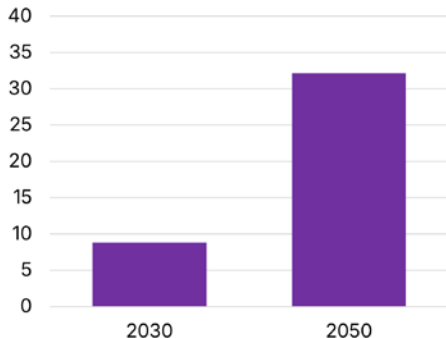
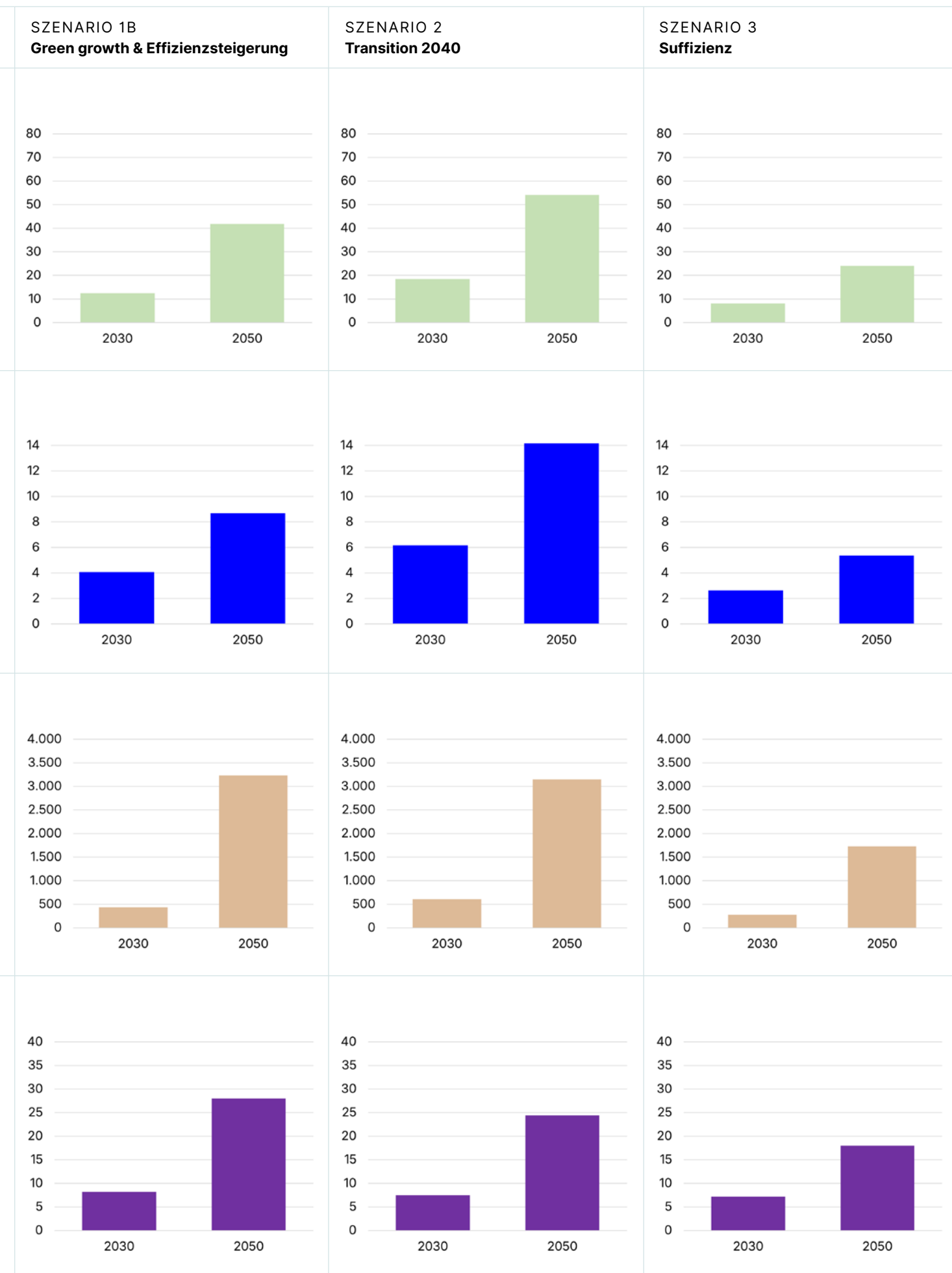
	SZENARIO R Referenz	SZENARIO 1A Green growth												
Eisen [kt]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Eisen [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~800</td></tr><tr><td>2050</td><td>~5,500</td></tr></table>	Jahr	Eisen [kt]	2030	~800	2050	~5,500	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Eisen [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~1,000</td></tr><tr><td>2050</td><td>~6,800</td></tr></table>	Jahr	Eisen [kt]	2030	~1,000	2050	~6,800
Jahr	Eisen [kt]													
2030	~800													
2050	~5,500													
Jahr	Eisen [kt]													
2030	~1,000													
2050	~6,800													
Nickel [kt]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Nickel [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~80</td></tr><tr><td>2050</td><td>~280</td></tr></table>	Jahr	Nickel [kt]	2030	~80	2050	~280	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Nickel [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~120</td></tr><tr><td>2050</td><td>~360</td></tr></table>	Jahr	Nickel [kt]	2030	~120	2050	~360
Jahr	Nickel [kt]													
2030	~80													
2050	~280													
Jahr	Nickel [kt]													
2030	~120													
2050	~360													
Graphit [kt]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Graphit [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~50</td></tr><tr><td>2050</td><td>~500</td></tr></table>	Jahr	Graphit [kt]	2030	~50	2050	~500	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Graphit [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~70</td></tr><tr><td>2050</td><td>~620</td></tr></table>	Jahr	Graphit [kt]	2030	~70	2050	~620
Jahr	Graphit [kt]													
2030	~50													
2050	~500													
Jahr	Graphit [kt]													
2030	~70													
2050	~620													
Mangan [kt]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Mangan [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~18</td></tr><tr><td>2050</td><td>~55</td></tr></table>	Jahr	Mangan [kt]	2030	~18	2050	~55	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Mangan [kt]</th></tr><tr><td>2030</td><td>~25</td></tr><tr><td>2050</td><td>~70</td></tr></table>	Jahr	Mangan [kt]	2030	~25	2050	~70
Jahr	Mangan [kt]													
2030	~18													
2050	~55													
Jahr	Mangan [kt]													
2030	~25													
2050	~70													



Tabelle 4: Vergleich der Ergebnisse

	SZENARIO R Referenz	SZENARIO 1A Green growth												
Lithium [kt]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Referenz (kt)</th></tr><tr><td>2030</td><td>10</td></tr><tr><td>2050</td><td>45</td></tr></table>	Jahr	Referenz (kt)	2030	10	2050	45	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Green growth (kt)</th></tr><tr><td>2030</td><td>15</td></tr><tr><td>2050</td><td>55</td></tr></table>	Jahr	Green growth (kt)	2030	15	2050	55
Jahr	Referenz (kt)													
2030	10													
2050	45													
Jahr	Green growth (kt)													
2030	15													
2050	55													
Kobalt [kt]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Referenz (kt)</th></tr><tr><td>2030</td><td>3.5</td></tr><tr><td>2050</td><td>10.5</td></tr></table>	Jahr	Referenz (kt)	2030	3.5	2050	10.5	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Green growth (kt)</th></tr><tr><td>2030</td><td>4.5</td></tr><tr><td>2050</td><td>13</td></tr></table>	Jahr	Green growth (kt)	2030	4.5	2050	13
Jahr	Referenz (kt)													
2030	3.5													
2050	10.5													
Jahr	Green growth (kt)													
2030	4.5													
2050	13													
Seltene Erden [t]	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Referenz (t)</th></tr><tr><td>2030</td><td>300</td></tr><tr><td>2050</td><td>3,100</td></tr></table>	Jahr	Referenz (t)	2030	300	2050	3,100	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Green growth (t)</th></tr><tr><td>2030</td><td>450</td></tr><tr><td>2050</td><td>3,750</td></tr></table>	Jahr	Green growth (t)	2030	450	2050	3,750
Jahr	Referenz (t)													
2030	300													
2050	3,100													
Jahr	Green growth (t)													
2030	450													
2050	3,750													
PGM [t] (Platin Group Metals)	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Referenz (t)</th></tr><tr><td>2030</td><td>8</td></tr><tr><td>2050</td><td>27</td></tr></table>	Jahr	Referenz (t)	2030	8	2050	27	 <table><tr><th>Jahr</th><th>Green growth (t)</th></tr><tr><td>2030</td><td>9</td></tr><tr><td>2050</td><td>32</td></tr></table>	Jahr	Green growth (t)	2030	9	2050	32
Jahr	Referenz (t)													
2030	8													
2050	27													
Jahr	Green growth (t)													
2030	9													
2050	32													



Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Elektrifizierung des Verkehrs den Bedarf an Rohöl erheblich reduzieren kann. Gleichzeitig steigt jedoch der Bedarf an anderen, insbesondere kritischen, Rohstoffen teilweise deutlich an. Dies verdeutlicht ein Spannungsfeld zwischen einer raschen CO₂-Reduktion durch verstärkte Elektrifizierung und der steigenden Nachfrage nach kritischen Rohstoffen, wenn keine begleitenden Maßnahmen für Rohstoffverbrauchsreduktion gesetzt werden.

Eine Gegensteuerung dieser Entwicklung ist durch eine Trendumkehr hin zu kleineren Fahrzeugen sowie durch verstärktes Recycling möglich. Substanzielle Reduktionen des Rohstoffbedarfs lassen sich jedoch nur erzielen, wenn diese Maßnahmen mit einer Veränderung des Mobilitätsverhaltens einhergehen. Dazu zählen eine geringere Zahl an Pkw-Neuzulassungen sowie eine Reduktion der mit dem Pkw zurückgelegten Distanzen. Das Suffizienz-Szenario soll aufzeigen, wie eine Entwicklung aussehen könnte, die zur Dekarbonisierung durch eine Minimierung des Rohstoffbedarfs beiträgt.

Am Beispiel Lithium zeigt sich, dass für die Pkw-Mobilität in Österreich bis 2050 im Referenzszenario zusätzlich 44 000 Tonnen benötigt würden. Im „Transition 2040“-Szenario steigt der Bedarf auf 54 000 Tonnen, während das „Green Growth“-Szenario (1a) sogar 55 900 Tonnen aufweist. Durch den Einsatz kleinerer Fahrzeuge und verstärktes Recycling könnte dieser zusätzliche Lithium-Bedarf im Szenario 1b auf etwa 42 000 Tonnen gesenkt werden. Im Szenario 3 würde sich der Bedarf durch verändertes Mobilitätsverhalten und eine deutlich geringere Zahl an Neuwagenzulassungen auf 24 000 Tonnen fast halbieren.

Ein anderes Bild zeigt sich bei Rohstoffen, für die kein Fortschritt im Recycling angenommen wurde, wie etwa Eisen, Graphit, Platingruppenmetalle (PGM) oder Seltene Erden. In Szenario 1b ist der Bedarf aufgrund der höheren Zahl an neu in den Bestand gebrachten Pkw höher als in

Szenario 2 (Transition 2040). Dennoch bleibt der Bedarf nach diesen Rohstoffen in Szenario 3 mit Suffizienzmaßnahmen am geringsten.

Trotz dieser Entwicklungen impliziert auch das Suffizienz-Szenario weiterhin einen erheblichen Bedarf an kritischen Rohstoffen für die Elektromobilität. Negative Auswirkungen können jedoch besser gemanagt und minimiert werden, wenn der Gesamtbedarf gesenkt wird. Dafür sind jedoch gezielte regulatorische Maßnahmen notwendig, um Umwelt- und Sozialaspekte zu berücksichtigen und Schäden gering zu halten.

Die angenommenen Entwicklungen hinsichtlich des Motorisierungsgrades und der Pkw-Neuzulassungen basieren auf externen Annahmen innerhalb der Szenarien. Um diese Entwicklungen aktiv zu beeinflussen, sind gezielte Maßnahmen erforderlich, ebenso wie eine Sensibilisierung der Bevölkerung. Diese Maßnahmen sind teilweise in den Studien hinterlegt, auf denen die Szenarien 2 und 3 basieren (Angelini et al. 2022, Laa 2025). Eine umfassende Mobilitätswende ist unabdingbar, um das Mobilitätsverhalten zu verändern und den Umstieg von privaten Pkw auf nachhaltige Verkehrsmittel wie öffentlichen Verkehr, Fuß- und Radverkehr zu fördern. Ebenso muss der Wechsel zu kleineren und leichteren Fahrzeugen, eine höhere Effizienz in der Batterieproduktion sowie das Recycling von Batterien und Fahrzeugkomponenten durch Regulierungen sichergestellt werden.

Um Rebound-Effekte der Elektrifizierung zu vermeiden, sind steuernde Maßnahmen erforderlich. Ein Beispiel ist die Senkung der Fahrkosten durch den Umstieg auf Elektro-Pkw, was durch eine gezielte Road-Pricing-Strategie ausgeglichen werden könnte. Gleichzeitig besteht ein Spannungsfeld zwischen einer raschen Elektrifizierung der Fahrzeugflotte und der Minimierung des Bedarfs an neuen, teils kritischen Rohstoffen. Ein optimales Szenario, das die Elektrifizierung bei gleichzeitiger Verringerung des Fahrzeugbestands schafft, würde beide Herausforderungen – Klimaneutralität 2040 und Rohstoffverbrauch – gleichermaßen adressieren.

Referenzen

- Angelini, A., Heinfellner, H., Pfaffenbichler, P., Schwingshackl, M. (2022). *Transition Mobility 2040 – Entwicklung eines Klima- und Energieszenarios zur Abbildung von Klimaneutralität im Verkehr 2040*. Umweltbundesamt. Wien, 2022.
Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0808.pdf (abgerufen am 11.02.2025)
- Bobba, S., Carrara, J., Huisman, F., Mathieux, F., Pavel, C. (2020). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*. European Commission, Joint Research Centre.
Verfügbar unter: ec.europa.eu/docsroom/documents/42881 (abgerufen am 11.02.2025)
- BMK (2022). *Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie*.
Verfügbar unter: www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html (abgerufen am 01.04.2025)
- De Blas, I., Mediavilla, M., Capellán-Pérez, I., & Duce, C. (2020). *The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm*. Energy Strategy Reviews, 32, 100543.
Verfügbar unter: [10.1016/j.esr.2020.100543](https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100543)
- DKA (2022). *Fallstudie Engagement bewEISEN. Menschenrechts- und Umweltschutz in Eisenerz-Lieferketten*. AG Rohstoffe. Dreikönigsaktion – Hilfswerk der Katholischen Jungschar (DKA), Hrsg.
Verfügbar unter: www.dka.at/rohstoffe/fallstudie-engagement-beweisen (abgerufen am 03.02.2025)
- EC (2023). *European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Grohol, M. and Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report*. Publications Office of the European Union, 2023.
Verfügbar unter: data.europa.eu/doi/10.2873/725585 (abgerufen am 11.02.2025)
- Economica (2018). *Expertenbericht Mobilität & Klimaschutz 2030*. ÖAMTC & ARBÖ (Hrsg.).
Verfügbar unter: www.economica.eu/wp-content/uploads/2021/02/OeAMTC-Expertenbericht-Mobilitaet-Klimaschutz-2030-Web.pdf (abgerufen am 06.02.2025)
- EU (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. Official Journal of the European Union, L 2024/1252, 1–79.
- Giljum, S., Maus, V., Kreimel, J., Weber, L., Kroiss, A., Pugneur, J., Toledano, A. (2025). *Driving change, not deforestation: how Europe could mitigate the negative impacts of its transport transition*.
Verfügbar unter: www.fern.org/fileadmin/uploads/fern/Documents/2025/2025_Driving-change-not-deforestation-Report.pdf (abgerufen am 15.07.2025)
- Haas, W., Baumgart, A., Eisenmenger, N., Virág, D., Kalt, G., Sommer, M., Kratena, K., Meyer, I. (2025). *How decarbonization and the circular economy interact: Benefits and trade-offs in the case of the buildings, transport and electricity sectors in Austria*. Journal of Industrial Ecology.
Verfügbar unter: papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5034679 (abgerufen am 11.02.2025)
- IEA (2021). *Minerals used in clean energy technologies compared to other power generation sources*. IEA, Paris
Verfügbar unter: www.iea.org/data-and-statistics/charts/minerals-used-in-clean-energy-technologies-compared-to-other-power-generation-sources, Licence: CC BY 4.0
- IEA (2022). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report*. International Energy Agency.
Verfügbar unter: www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions (abgerufen am 11.02.2025)
- IEA (2023). *Global EV Outlook 2023. Catching up with climate ambitions*. International Energy Agency.
Verfügbar unter: www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023 (abgerufen am 11.02.2025)
- IEA (2024). *Global Critical Minerals Outlook 2024*. International Energy Agency.
Verfügbar unter: iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9df6-abeaac9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf (abgerufen am 03.02.2025)
- Laa, B. (2025). *The role of a sustainable mobility Guarantee in the social-ecological transformation of the transport sector [Dissertation, Technische Universität Wien]*. repositUM.
Verfügbar unter: doi.org/10.34726/hss.2025.131883
- Öko-Institut (2017). *Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen. Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende*.
Verfügbar unter: www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Nachhaltige_Rohstoffversorgung_Elektromobilitaet/Agora_Verkehrswende_Synthesepapier_WEB.pdf (abgerufen am 11.02.2025)
- UBA (2021). *Die Ökobilanz von Personenkraftwagen. Bewertung alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO₂-Reduktionspotenzial und Energieeinsparung*. Umweltbundesamt. Wien 2021.
Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0763.pdf (abgerufen am 11.02.2025)
- UBA (2022). *Transition Mobility 2040. Entwicklung eines Klima- und Energieszenarios zur Abbildung von Klimaneutralität im Verkehr 2040*. Wien, 2022.
Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0808.pdf (abgerufen am 01.04.2025)
- UBA (2023). *Rohstoffe der Elektromobilität. Kurzstudie zur Analyse derzeitiger und möglicher künftiger Rohstoffabhängigkeiten von Elektrofahrzeugen*. Umweltbundesamt – Fritz, D., Heinfellner, H., Lambert, S. REP-0850. Wien, 2023.
Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0850.pdf (abgerufen am 03.02.2025)
- UBA (2024). *Emissionskennzahlen Datenbasis 2022*.
Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/mobilitaet/daten/ekz_fzkm_verkehrsmittel.pdf (abgerufen am 11.02.2025)
- UNEP (2024). *Global Resources Outlook 2024. Bend the trend. Pathways to a livable planet as resource use spikes*. United Nations Environment Programme. Nairobi, 2024.
Verfügbar unter: wedocs.unep.org/20.500.11822/44901
- VCÖ (2022). *E-Autos im Sinne der Kreislaufwirtschaft konstruieren*. VCÖ Factsheet. 2022.
Verfügbar unter: vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/e-autos-im-sinne-der-kreislaufwirtschaft-konstruieren (abgerufen am 11.02.2025)
- Virág, D., Wiedenhofer, D., Haas, W., Haberl, H., Kalt, G., Krausmann, F. (2022). *The stock-flow-service nexus of personal mobility in an urban context: Vienna, Austria*. Environmental Development, 41, 100628.
Verfügbar unter: [10.1016/j.envdev.2021.100628](https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100628)
- Virág, D. (2023). *The materiality of mobility: infrastructure stocks, resource flows and their link to mobility services and well-being*. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, 2023
- Wilke, M., Reckordt, M. (2024). *Metallverbrauch senken: Praktische Vorschläge zur Gestaltung der Rohstoffwende*. PowerShift – Verein für eine ökologisch solidarische Energie & Weltwirtschaft e. V. (Hrsg.). Berlin, März 2024.
- World Nuclear Association (2024). *Mineral Requirements for Electricity Generation*. 03.12.2024.
Verfügbar unter: world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/mineral-requirements-for-electricity-generation (abgerufen am 11.02.2025)