
Stellungnahme NKWS

Stiftung Klimaneutralität, Juli 2024

Zusammenfassung

Recycling ist ein wichtiger Pfeiler zur Stärkung der Resilienz durch die **Rückgewinnung von Rohstoffen für strategische Transformationstechnologien (*net-zero Technologien*) wie etwa Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität, Permanentmagnete für Elektromobilität und Windkraft sowie Elektrolyseure**. Auf der zeitlichen Schiene ist Recycling zunächst für die Rückgewinnung von Batterierohstoffen wie Lithium, Kobalt, Nickel und Kupfer von Relevanz.

Ein nennenswerter Beitrag des Rohstoffrecyclings zur Steigerung der Resilienz ist indes nicht vor Mitte der 2030er Jahre zu erwarten. Das Rohstoffrecycling spielt dann allerdings eine zunehmend entscheidende Rolle. Ein **recyclingfreundliches Design der relevanten Güter, rechtzeitige Investitionen in Recyclingkapazitäten und der Aufbau eines förderlichen industriellen Ökosystems** sollte deswegen schon heute gestartet werden. Erste Recyclinganlagen sind in Deutschland und Europa in Betrieb und durch die EU Battery Regulation ist ein ambitionierter regulatorischer Rahmen gesetzt. Die notwendigen Maßnahmen zur Steigerung der Recyclingaktivitäten sollten mit dem Rahmen der NKWS **jetzt forciert werden**, um ab 2030 und danach die großen sich abzeichnenden Recyclingpotenziale zu erschließen.

Kernbotschaften

- Für eine Reihe von den strategischen Rohstoffen wie Lithium, Nickel, Kobalt und Kupfer aus Batterien, Seltene Erden aus Permanentmagneten stellen die zukünftig verstärkt anfallenden End-Of-Life-Materialströme (z.B. aus abgemeldeten Fahrzeugen, stillgelegten Windkraftanlagen) mittel- und langfristig eine attraktive heimische Versorgungsquelle für strategische Rohstoffe dar.
- Die europäische Metallrecyclingindustrie repräsentiert in einigen Bereichen Weltniveau (z.B. für Kupfer und Edelmetalle). Dieses gute Ausgangsniveau sollte für neue bzw. aktuell wachsende Recyclinginfrastrukturen (wie für Lithium-Ionen-Batterien, Permanentmagnete, später auch PV-Module und Elektrolyseure) mit geeigneten Instrumenten auf der Regulierungsebene gestützt werden.
- Frühzeitiger Kapazitätsaufbau in der Recyclingindustrie: Dies gelingt durch Designanforderungen, Exportbeschränkungen für Sekundärrohstoffe und Vorprodukte sowie die robuste Umsetzung der EU Battery Regulation und des Critical Raw Materials Acts der EU.
- Die EU-Battery-Regulation hat hier durch Sammelziele, materialspezifische *End-of-Life*-Recyclingquoten (für Lithium usw.) sowie durch *Recycled-Content*-Vorgaben für zukünftig neu in den Markt zu bringende Batterien den Weg vorgegeben. Hier gilt es nun

den Vollzug in allen EU-Ländern robust umzusetzen, um die ambitionierten Ziele zeitnah zu realisieren.

- Ein aktuelles Beispiel ist die entsprechende Diskussion bzgl. der Einschränkung des möglichen Exports der werthaltigen «Schwarzmasse», ein Zwischenprodukt aus dem Recycling von Lithium-Ionen-Batterien.
- Maßnahmen zum Recycling von kritischen Rohstoffen wirken – mit wenigen Ausnahmen, wie z.B. beim Recycling von Batterieproduktionschrotten – vor allem erst längerfristig, da viele Technologien nach dem initialen Hochlauf teilweise mehrere Jahrzehnte im Markt verbleiben, bevor sie dem Recycling zur Verfügung stehen.
- Auch wenn die Beiträge aus dem Recycling zur Versorgung Europa mit strategischen Rohstoffen erst mittelfristig (ab 2030) oder langfristig (nach 2035) relevante Größenordnungen erreichen können, müssen die Instrumente für die Erschließung der Potenziale innerhalb der aktuellen Legislatur auf den Weg gebracht werden.

Fachlicher Hintergrund und Datengrundlage

Die *Stiftung Klimaneutralität* hat ein Konsortium von Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut beauftragt, die Bedarfe an Rohstoffen und Zwischenprodukten mit ihren kritischen Schwachstellen und Abhängigkeiten bei zentralen Transformationstechnologien wie Photovoltaik, Windkraft und Elektromobilität, aber auch grünem Stahl, entlang ihrer gesamten Lieferketten lückenlos zu analysieren und die neuralgischen Punkte mit besonderem politischem Handlungsbedarf zu identifizieren.

Die Studie¹ der Stiftung Klimaneutralität liefert zum ersten Mal länderspezifische Daten zur Resilienz kritischer Lieferketten für Deutschland durch eine Zeitreihenanalyse in Fünfjahresschritten bis zu dem durch die Bundesregierung für die Klimaneutralität beschlossenen Zieljahr 2045.

Im Rahmen der Studie wurden in engem Austausch mit Vertretern von Industrie, Politik, Zivilgesellschaft und Expertenorganisationen **Vorschläge zum Beitrag der Kreislaufwirtschaft für eine resiliente Transformation** von Deutschlands Schlüsselindustrien erarbeitet.

Strategische Industrien für die Transformation zur Klimaneutralität mit wachsendem Rohstoffbedarf

Für die Transformation zur Klimaneutralität spielen eine Reihe von Schlüsselindustrien eine strategische Rolle. Diese strategische Bedeutung ergibt sich mit Blick auf den Erfolg der Klimaschutzstrategien, die politische Souveränität Deutschlands und Europas sowie die Sicherung des Industriestandorts. Zu den besonders relevanten Schlüsseltechnologien gehören: **Photovoltaik, Windkraft, Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität, Permanentmagnete für Elektromobilität und Windkraft, Elektrolyseure, Wärmepumpen sowie Grüne Stahlerzeugungsanlagen.**

¹ Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2023): Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045. Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität. Online: www.stiftung-klima.de/resilienz

Für die Schlüsseltechnologien werden **sieben Rohstoffe** als sehr kritisch bewertet mit Blick auf die Förderung und Verarbeitung. **Die Kritikalität ist durch entschlossenes politisches Handeln, etwa im Rahmen der NKWS, beherrschbar.** Es handelt sich um: **Graphit, Iridium, Kobalt, Lithium, Mangan, Leichte und Schwere Seltene Erden.** Darüber hinaus sollten **Nickel und Polysilizium** als weitere mittelkritische (verarbeitete) Rohstoffe hohe Aufmerksamkeit finden. Eine besondere Bedeutung ergibt sich hier für die Transformationsphase bis 2030/35.

Permanentmagnete: Technologiespezifische Potenziale der Kreislaufwirtschaft

Bei Permanentmagneten (Seltene Erden) ist das Recycling von großer strategischer Relevanz. Allerdings müssen hier noch verstärkte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen und entsprechende technologische Innovationen zu den Recyclingprozessen forciert werden, um hier die Recyclingpotenziale zu erschließen. Der Critical Raw Materials Act und die Revision der EU-Altfahrzeug-Richtlinie stellen hier ebenfalls wichtige regulatorische Weichenstellungen dar, die es durch eine zügige und effektive nationale Umsetzung unbedingt zu unterstützen gilt.

Das strategische Potenzial des Recyclings ergibt sich einerseits aus der Tatsache, dass Neodym-Eisen-Bor Magnete rund 30 Gewichtsprozent genau der Seltenen Erden (Neodym und Praseodym sowie Dysprosium und Terbium) enthalten, die für die Produktion neuer Hochleistungsmagnete benötigt werden, während in natürlichen Vorkommen, die Gehalte an Seltenen Erden insgesamt in der Regel nur zwischen 0,5 – 1,5 Gewichtsprozent betragen und dabei immer große Anteile an anderen Seltenen Erden wie Cer und Lanthan aufwendig abgetrennt werden müssen.

Im Bereich der Windenergie ist jedoch erst in den Jahren 2030 bis 2035 mit signifikantem Rückbau von Offshore-Anlagen zu rechnen, die ein nennenswertes Recyclingpotenzial für Seltene Erden bieten. Für den Elektrofahrzeugbereich in Deutschland ist im Jahr 2030 ein Verhältnis der in Neuzulassungen eingesetzten Seltenen Erden gegenüber dem Materialinhalt in abgemeldeten Fahrzeugen von gut 10:1 zu erwarten. Bereits fünf Jahre später im Jahr 2035 beträgt dieses Verhältnis rund 4:1 und 2045 bei ca. 2,5:1.

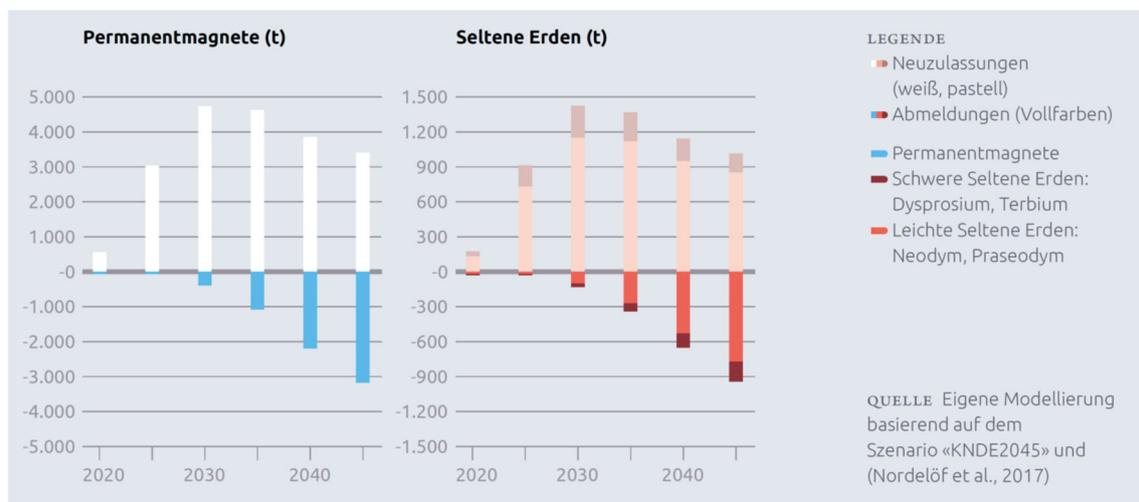


Abbildung 1 Jährliche Nachfrage nach Permanentmagneten bzw. Seltenen Erden für Elektromotoren für Fahrzeugantriebe (Neuzulassungen) sowie Abmeldungen aus der deutschen Flotte. Nach 2030 wächst das Recyclingpotenzial für Permanentmagnete und Seltene Erden rasant.

Lithium-Ionen Batterien: Technologiespezifische Potenziale der Kreislaufwirtschaft

Im Jahr 2030 ergibt sich ein Gesamtbedarf für die Fahrzeugneuzulassungen von rund 1,26 Millionen Tonnen Lithium-Ionen-Batterien – dieser Menge stehen im gleichen Jahr rund 86.000 Tonnen Lithium-Ionen-Batterien aus abgemeldeten Fahrzeugen gegenüber. Die enorme Dynamik in diesem System (Neuzulassungen vs. Abmeldungen) ist bereits fünf Jahre später – also 2035 – erkennbar: hier stehen nun 1,33 Millionen Tonnen Lithium-Ionen-Batterien für Neuzulassungen bereits rund 297.000 Tonnen Lithium-Ionen-Batterien aus abgemeldeten Fahrzeugen gegenüber. Im aktuellen politischen Umfeld kann aus verschiedenen Gründen (Zweitnutzungen von Batterien, Exporte von Gebrauchtfahrzeugen in das Ausland etc.) nicht davon ausgegangen werden, dass das Potenzial an Lithium-Ionen-Batterien in Gänze dem Recycling zur Verfügung stehen.

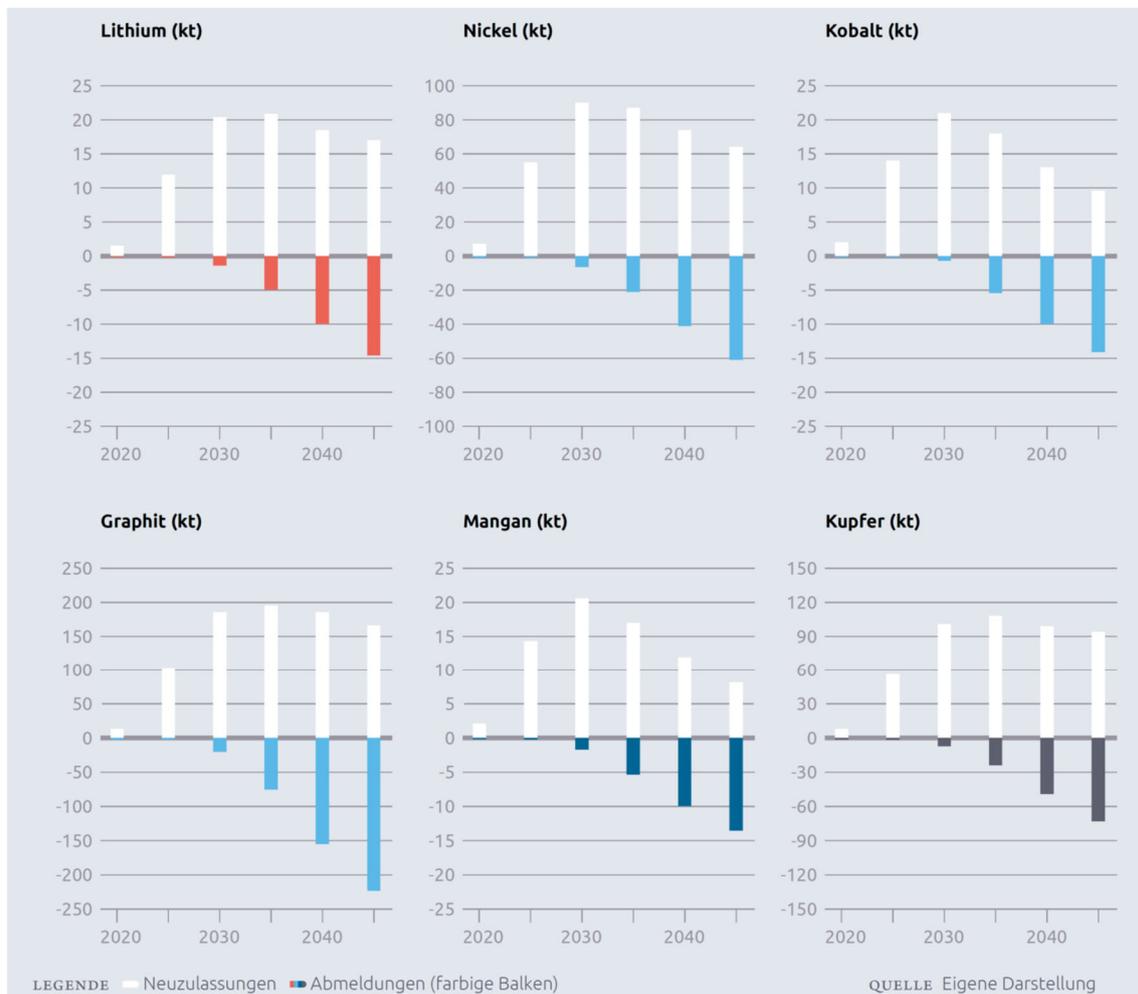


Abbildung 2 Jährliche Rohstoffbedarfe für Lithium-Ionen-Batterien für Fahrzeugneuzulassungen sowie theoretische Rohstoffpotenziale aus Fahrzeugabmeldungen in Deutschland nach dem Szenario «KNDE2045». Vor allem für Lithium, Kobalt, Nickel und Kupfer zeigen sich ab 2030 erheblich wachsende Recyclingpotenziale.

Langfristig (2045) sind durchaus Sekundärmetalleinsatzquoten in der Größenordnung von rund 50 Prozent (Lithium) und von rund 70 Prozent (Kupfer) aus dem Kreislauf der Lithium-Ionen-Batterien möglich. Im Falle von Nickel und Kobalt errechnet sich bis 2045 gar nahezu eine Vollversorgung durch Sekundärrohstoffe aus dem Batteriekreislauf. Gleiches gilt rechnerisch für Mangan – allerdings ist Mangan nicht spezifisch in der EU Battery Regulation adressiert und

bislang ist der ökonomische Anreiz in der Recyclingwirtschaft für die Rückgewinnung von Mangan aufgrund der spezifischen relativ niedrigen Manganpreise bislang noch überschaubar.

Elektrolyseure: Technologiespezifische Potenziale der Kreislaufwirtschaft

Das Recycling von Materialien von Elektrolyseuren (Titan, Iridium, Platin) ist ebenfalls eine Option – allerdings mit Relevanz erst nach 2035. Das Recycling von Wertmetallen aus Elektrolyseuren ist zurzeit aufgrund der noch relativ neuen Technologie und den bislang sehr geringen installierten Kapazitäten weltweit noch ein absolutes Forschungs- und Entwicklungsfeld. Ein wesentlicher Aspekt in der kommerziellen Entwicklung der Elektrolyseanlagen ist jedoch, dass die Recyclingfähigkeit bereits mitgedacht wird, um das Potenzial zukünftig möglichst vollständig erschließen zu können.

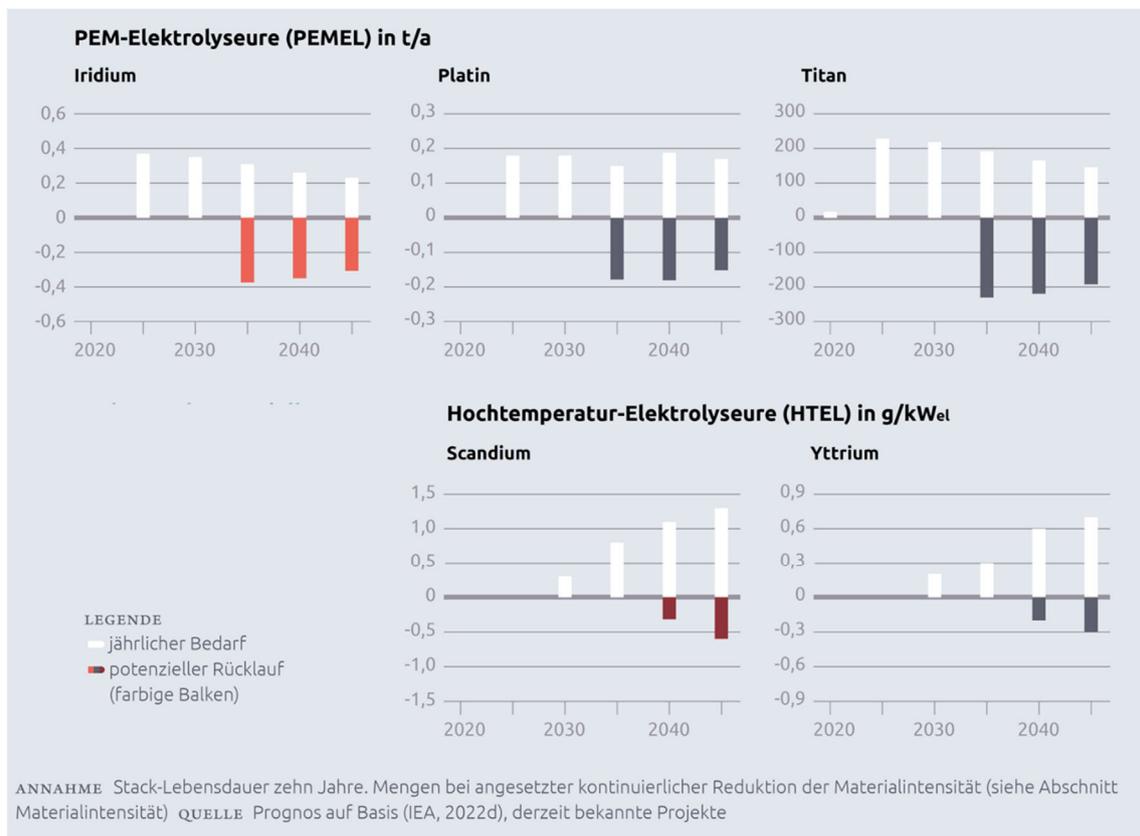


Abbildung 3 Zubau und potenzieller Rücklauf von Metallen (Elektrolyseure) im «KNDE2045»-Szenario. Rückläufe aus Recycling werden erst ab 2035 relevant.

Kontakt

Stiftung Klimaneutralität

Dr. Sebastian Helgenberger, Senior Advisor
 Friedrichstraße 155-156, 10117 Berlin

sebastian.helgenberge@stiftung-klima.de
www.stiftung-klima.de

Technischer Anhang

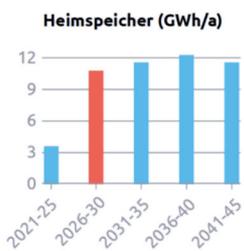
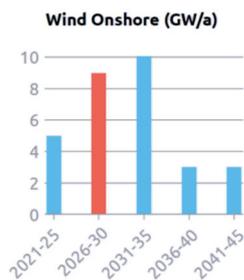
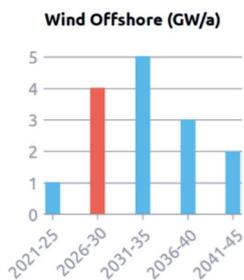
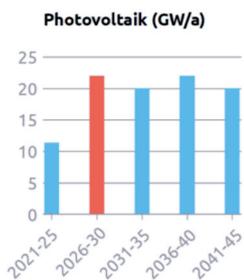
Quelle (alle Abbildungen): Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2023): Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045. Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität. Online: www.stiftung-klima.de/resilienz

Güter	Rohstoff	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Lithium-Ionen-Batterien in Fahrzeugen	Lithium	kt/a	2	12	21	21	19	17
	Nickel	kt/a	7	55	91	88	74	65
	Kobalt	kt/a	2	14	21	18	13	10
	Graphit	kt/a	13	104	187	198	179	168
Permanentmagnete Fahrzeuge	Schwere Seltene Erden (Dysprosium, Terbium)	t/a	34	180	267	245	194	162
		t/a	10	86	223	187	17	12
Windkraft	Leichte Seltene Erden (Neodym, Praseodym)	t/a	134	730	1153	1127	954	850
		t/a	84	725	1923	1602	138	92
Elektrolyseure in DE (mit Materialreduktion)	Iridium	t/a	0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2

Abbildung 4 Bedarf an kritischen Rohstoffen bis 2045 für Deutschland nach KNDE2045 Szenario. Bei nahezu allen strategischen Gütern liegt der Peak der Nachfrage nach kritischen Rohstoffen zwischen 2030 und 2035.

A. Energiewirtschaft*

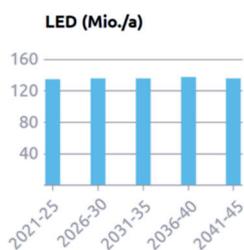
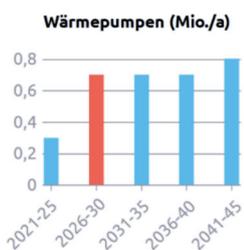
Bei Photovoltaik und Windkraft an Land und auf See werden bis 2030 jährlich 2- bis 4-Mal mehr Anlagen zugebaut als in der jüngsten Vergangenheit.



* Zusätzlich werden im Stromsektor Ersatzinvestitionen in Bioenergieanlagen (Biogas und feste Biomasse) benötigt. Bis 2028 werden in Summe 2,4 GW ausgeschrieben, um Stilllegungen von Bestandsanlagen teilweise zu kompensieren. Leistungsziel 2030 sind 8,4 GW (2022: 9 GW). Zur Leistungsabsicherung werden zudem Gaskraftwerke benötigt, die Wasserstoff einsetzen können. Dazu erarbeitet das BMWK derzeit eine Kraftwerksstrategie. Darüber hinaus werden Biomethanaufbereitungsanlagen benötigt sowie zusätzlich in der Fernwärme Solathermieanlagen, Heizkessel, Großwärmepumpen, Geothermieanlagen, E-Kessel und Speicher.

B. Gebäude

Starke Zunahme bei Neuinstallation von Wärmepumpen von 2025 bis 2030 auf im Mittel rund 700.000 Stück pro Jahr. Das entspricht ungefähr dem heutigen Absatz von Gasthermen. In 2022 lag der Bruttozubauf bei rund 240.000 Stück.



C. Verkehr

Bis 2030 gibt es vor allem einen starken Anstieg in den Neuzulassungen von batterieelektrischen Pkw (BEV) und bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen (LNF und SNF – BEV).

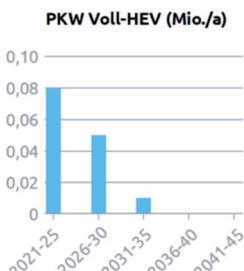
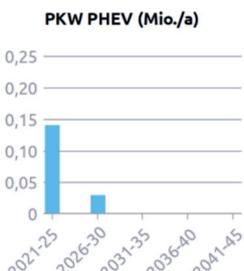
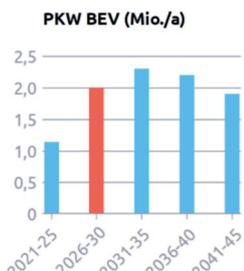


Abbildung 5 Notwendiger Zubau der einzelnen Transformationstechnologien im Zeitverlauf bis 2045. Ein schneller Zubau bis 2030 ist vor allem erforderlich bei den Schlüsseltechnologien Photovoltaik, Windenergie, Wärmepumpen, E-Pkw (batterieelektrisch BEV) und DRI-Schachtöfen zur Produktion von Stahl.

	Rohstoffförderung	Rohstoffverarbeitung	(Teil-)Komponenten	Güter
Photovoltaik		⊙ Polysilizium: China 79 %	⊙ Ingots/Wafer: China 97 %	⊙ Module: China 75 %
			⊙ Zellen: China 85 %	
			⊙ Solarglas	
Windkraft			⊙ Viele Komponenten werden in China beschafft	⊙ Derzeit ausreichende Kapazitäten in Europa, jedoch sinkende Wettbewerbsfähigkeit
Generatoren und Motoren (für Windkraft und Elektromobilität)	⊙ Leichte Seltene Erden: China 58 %	⊙ Leichte Seltene Erden: China 87 %	⊙ Permanentmagnete: China: 94 %	
	⊙ Schwere Seltene Erden: China/ Myanmar: 100 %	⊙ Schwere Seltene Erden: China 100 %		
Elektromobilität Lithium-Ionen-Batterie	⚡ Lithium	⚡ Lithium	⊙ Kathodenmaterial: China 71 %	⚡ Batteriezellen
	⚡ Kobalt: Kongo 72 %	⊙ Kobalt: China 75 %		
	⊙ Mangan: Südafrika 36 %	⊙ Mangan: China 95 %		
	⊙ Nickel: Indonesien 38 %	⊙ Nickel: China 55 %		
	⊙ Graphit: China 73 %	⊙ Graphit: China 100 %	⊙ Anodenmaterial: China 91 %	
Elektrolyseure	⊙ Iridium (PEMEL): ⊙ Produktion kann nicht ausgeweitet werden. Südafrika 85 %			
	⊙ Scandium (HTEL, erst nach 2030/35)			
Wärmepumpen			⊙ Kompressoren (teilw. mit Permanentmagneten)	
Grüner Stahl	Eisenerze in DRI-Qualität			⊙ Anlagenbau für Direktreduktions-Anlagen (DRI-Schachtöfen)

LEGENDE ⊙ Konzentration und Marktmacht ⚡ Kurz-/Mittelfristiger Nachfrageüberhang ● Dauerhafte Knappheit
Kritikalität: ■ Sehr kritisch ■ Mittel kritisch ■ Mäßig kritisch

QUELLE Eigene Darstellung HINWEIS Kupfer, Titan, Gallium, Germanium, Yttrium sowie Platin: Nach den Untersuchungen dieser Studie sind diese Rohstoffe für die Transformation zur Klimaneutralität 2045 strategisch relevant, aber nicht kritisch.

Abbildung 6 Versorgungsrisiken bei strategischen Schlüsseltechnologien entlang der Lieferkette nach Kritikalität.
Die Risiken unterscheiden sich nach Schwere und Ursache für mögliche Versorgungsengpässe.