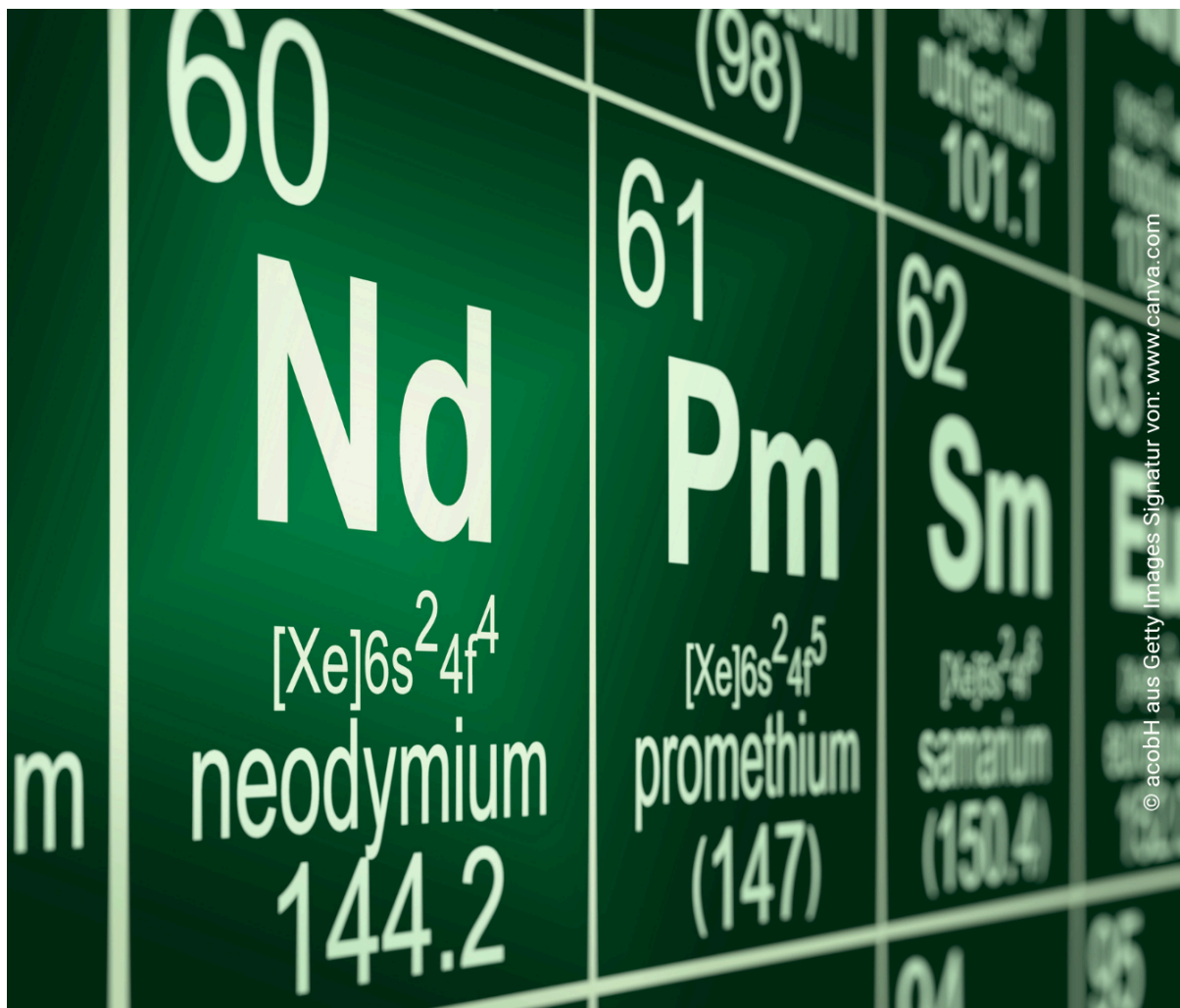


CIRCULAR NEODYM

DER WEG VOM RISIKO ZUR VERLÄSSLICHEN RESSOURCE



Dezember 2025

VORWORT

Seltene Erden wie Neodym stehen sinnbildlich für die Herausforderungen und Chancen unserer Zeit: Sie sind unverzichtbar für die Transformation hin zu einer klimaneutralen, digitalisierten und technologisch souveränen Gesellschaft – und gleichzeitig ein Sinnbild für globale Abhängigkeiten, geopolitische Spannungen und ungelöste Nachhaltigkeitsfragen.

Als Thinkubator beschäftigen wir uns intensiv mit der Frage, wie sich kritische Rohstoffe wie Neodym langfristig sichern und gleichzeitig ressourcenschonend nutzen lassen. Dieses Whitepaper möchte Entscheidungsträger:innen aus Politik, Wirtschaft und Forschung dabei unterstützen, die aktuelle Lage zu verstehen, Potenziale zu erkennen und konkrete Handlungsoptionen zu entwickeln.

Die Ergebnisse zeigen: Europa steht am Scheideweg. Ohne eine konsequente Kreislaufwirtschaft, neue Formen der Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette und gezielte politische Weichenstellungen droht nicht nur eine wachsende Abhängigkeit von wenigen Lieferländern, sondern auch eine Verlangsamung zentraler Zukunftsprojekte wie der Energiewende. Gleichzeitig eröffnen technologische Innovationen, neue Regulierungen und eine wachsende Sensibilität für Ressourceneffizienz die Chance, Neodym zirkulär zu nutzen und damit wirtschaftliche Resilienz und ökologische Verantwortung zu vereinen.

Wir laden Sie ein, dieses Whitepaper als Impuls für Diskussionen, Strategien und konkrete Projekte zu nutzen. Die Transformation hin zu einer zirkulären Neodym-Wertschöpfungskette ist eine gemeinsame Aufgabe – und sie beginnt jetzt.

Wien, im September 2025

Autor:innen: Bastien Huber und Michaela Leber - Thinkubator – Verein zur Forschung und Umsetzung nachhaltiger Lösungen

Zitieren als: Thinkubator. (2025). Circular Neodym: Der Weg vom Risiko zur verlässlichen Ressource.

Ein großes Dankeschön geht auch an Marlon Wiedemann, dessen ursprüngliches Rohstoff-Screening, signifikant dazu beigetragen hat, dass dieses Whitepaper entstanden ist.

INHALTSVERZEICHNIS

EXECUTIVE SUMMARY.....	4
DER ROHSTOFF NEODYM.....	5
WO IST NEODYM ENTHALTEN?.....	6
GLOBALE VERSORGUNG UND ABHÄNGIGKEITEN.....	8
ZIRKULARITÄT VON NEODYM.....	11
DREI ZENTRALE KREISLAUFSTRATEGIEN.....	11
RÜCKGEWINNUNG IN DER PRAXIS: AKTEURE UND HINDERNISSE.....	15
POTENZIALE FÜR RECYCLING.....	17
RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN IN DER EU UND IN ÖSTERREICH.....	20
AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT.....	22
VORBEREITUNG: WAS UNTERNEHMEN JETZT TUN SOLLTEN.....	23
WO WIR ALS THINKUBATOR FORSCHUNGSLÜCKEN SEHEN UND GERNE ZUSAMMENARBEITEN BZW. UNTERSTÜTZEN.....	24
LITERATURVERZEICHNIS.....	26

EXECUTIVE SUMMARY

Neodym ist ein Schlüsselfaktor für Zukunftstechnologien wie Elektromobilität, Windkraft und moderne Elektronik. Als zentraler Bestandteil von Permanentmagneten ist Neodym unverzichtbar für die Energiewende und digitale Transformation. Bis 2030 wird sich die weltweite Nachfrage vervielfachen – bei gleichzeitig massiver Abhängigkeit von China, das heute rund 60 % der Förderung und über 90 % der Verarbeitung kontrolliert. Für Europa ist dies nicht nur ein wirtschaftliches, sondern auch ein strategisches Risiko.

Gleichzeitig liegt die Recyclingquote in der EU bei unter 1 %. Fehlende Sammel- und Demontagestrukturen, lange Produktlebensdauern und der Export gebrauchter Produkte verhindern eine effektive Rückführung in den Kreislauf. Damit droht eine Versorgungslücke, die zentrale Zukunftsbranchen, wie beispielsweise Elektromobilität und Windkraft, erheblich ausbremsen könnte.

Doch die Potenziale sind enorm: Bis 2040 könnten allein in Europa tausende Tonnen Neodym aus End-of-Life-Produkten zurückgewonnen werden. Gleichzeitig schafft die EU mit dem Critical Raw Materials Act, der Ökodesign-Verordnung und dem digitalen Produktpass erstmals einen verbindlichen Rahmen, um Sammelquoten zu steigern, Design-for-Recycling umzusetzen und neue Geschäftsmodelle zu fördern.

Um diese Chancen zu nutzen, müssen vor allem Unternehmen frühzeitig handeln: Produkte recyclingfreundlich gestalten, Materialflüsse dokumentieren, Kooperationen mit Recyclingpartnern eingehen und Pilotprojekte zur Rückgewinnung unterstützen. Wer jetzt investiert, sichert sich nicht nur Versorgungssicherheit, sondern auch einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil in einer rohstoffarmen Zukunft.

DER ROHSTOFF NEODYM

Seltene Erden bilden eine Gruppe von 17 Metallen, die für moderne Technologien von zentraler Bedeutung sind. Sie werden in Smartphones und Computern ebenso eingesetzt wie in Elektromotoren, Windkraftanlagen oder Medizingeräten. Ihre einzigartigen magnetischen, katalytischen und optischen Eigenschaften machen sie zu einem Schlüsselfaktor für die Energiewende, die digitale Transformation und viele industrielle Anwendungen.

Trotz ihrer weiten Verbreitung sind Seltene Erden schwer zugänglich: Ihre Gewinnung erfordert komplexe Trennverfahren, ist ressourcenintensiv und geht häufig mit erheblichen Umweltbelastungen einher. Hinzu kommt eine hochgradig konzentrierte Wertschöpfungskette – insbesondere China dominiert Abbau, Raffination und Weiterverarbeitung und kontrolliert damit große Teile des Weltmarktes. Für Europa bedeutet dies eine strategische Abhängigkeit, die in Zeiten geopolitischer Spannungen zunehmend als Risiko wahrgenommen wird.

Innerhalb dieser Gruppe kommt **Neodym** eine besondere Bedeutung zu. Als Hauptbestandteil leistungsstarker Permanentmagnete ist es unverzichtbar für Elektromobilität, Windkraft und zahlreiche Zukunftstechnologien. Diese Anwendungsfelder sind zugleich die größten Treiber der weltweit stark wachsenden Nachfrage. Viele Faktoren beeinflussen, wie Neodym in Zukunft zirkulär und nachhaltiger genutzt werden kann, um Europas Versorgungssicherheit zu stärken, Abhängigkeiten zu reduzieren und ökologische Belastungen zu verringern.

Neodym ist ein metallisches Element und gehört zur Untergruppe der leichten seltenen Erden, die sich in ihrer Zusammensetzung und ihrem Verhalten sehr ähneln. Mit einem Massenanteil von etwa 22 ppm in der Erdhülle beziehungsweise einer geologischen Häufigkeit von etwa 40 ppm in der Erdkruste ist Neodym zwar nicht „selten“ im eigentlichen Sinne, aber schwer zu gewinnen, da es in der Natur nur in gebundener Form vorkommt. Der Begriff „selten“ bezieht sich nämlich darauf, dass diese Elemente meist gemeinsam in Mineralien auftreten und nur mit großem Aufwand voneinander getrennt werden können (Binder, 1999; Choi, 2023; Omodara, 2019).

Der Abbau und die Verarbeitung von seltenen Erden setzen neben den Metallen auch radioaktive Elemente wie Uran und Thorium frei. Diese gelangen durch Verwitterung und industrielle Prozesse in Luft, Wasser, Boden und Grundwasser und können so Umwelt und Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen gefährden. Insbesondere trägt die intensive Nutzung von seltenen Erden in modernen Technologien, das Verbrennen von Biomasse und Kohle sowie der Einsatz von Düngemitteln zur weiteren Anreicherung dieser Stoffe bei (Patel, 2023).

WO IST NEODYM ENTHALTEN?

Neodym wird heute vor allem in Neodym-Eisen-Bor-Magneten (NdFeB) verwendet, die eine zentrale Rolle in vielen modernen Technologien spielen. Diese Magnete bestehen zu 25 bis 35 % aus seltenen Erden – hauptsächlich Neodym, Praseodym und Dysprosium – sowie zu 60 bis 70 % aus Eisen und etwa 1 % Bor. Aufgrund dieser Zusammensetzung gelten sie als die leistungsfähigsten kommerziell verfügbaren Permanentmagnete und machen schätzungsweise rund 90 % des weltweiten Neodymverbrauchs aus (Kumari & Sahu, 2023; Glöser-Chahoud et al., 2016).

NdFeB-Magnete sind zudem besonders wichtig für die Elektromobilität, da ihre hohe magnetische Energiedichte kompakte und effiziente Bauformen ermöglicht – eine zentrale Eigenschaft in vielen industriellen und technologischen Anwendungen. Während konventionelle Fahrzeuge etwa 250 g enthalten (z. B. für Servolenkungen), liegt der Bedarf bei E-Fahrzeugen je nach Modell bei 2,5 bis 10 kg. Bis 2030 dürfte sich die weltweite Nachfrage im Automobilbereich im Vergleich zu 2019 mehr als verzehnfachen (Kumari & Sahu, 2023).

Neben der Elektromobilität ist auch die Windkraft ein zentraler Treiber der steigenden Nachfrage: Für die Erzeugung von 1 MW elektrischer Leistung kommen je nach Turbinentyp zwischen 250 und 650 kg Hochleistungsmagnete zum Einsatz. Indien plant beispielsweise, bis 2030 die Windkraftkapazität auf 140 GW auszubauen, wofür allein rund 30.000 Tonnen Neodym benötigt werden (Kumari & Sahu, 2023).

Folgende Tabelle zeigt die typische Mengen an NdFeB-Magnetmaterial in verschiedenen Anwendungen von wenigen Gramm in Konsumgütern über mehrere Kilogramm in Fahrzeugen bis zu Hunderten Kilogramm in Windturbinen oder MRT-Geräten.

Anwendungen	NdFeB Magneten pro Einheit
Festplatte	10-20 g
Kühlschrank	40-60 g
Waschmaschine	80-180 g
Konventionelles Auto	250 g
E-Bike	300-350 g
E-Auto	1.25 kg
Windgeneratoren	250-650 kg/MW
Magnetresonanztomographie (MRT)	2.5 t

Tabelle 1: **NdFeB-Magneteinsatz nach Anwendung** (Kumari & Sahu, 2023)

Während in Produkten des alltäglichen Konsums wie Kühlschränken, Festplatten oder elektronischen Geräten vor allem kleinere Magnetmengen verwendet werden, spielen NdFeB-Magnete in E-Mobilität und Windkraft eine zentrale Rolle aufgrund ihrer hohen magnetischen Energiedichte und Effizienz. Abbildung 1 zeigt den geschätzten Marktanteil von NdFeB-Magneten in verschiedenen Anwendungsfeldern auf:

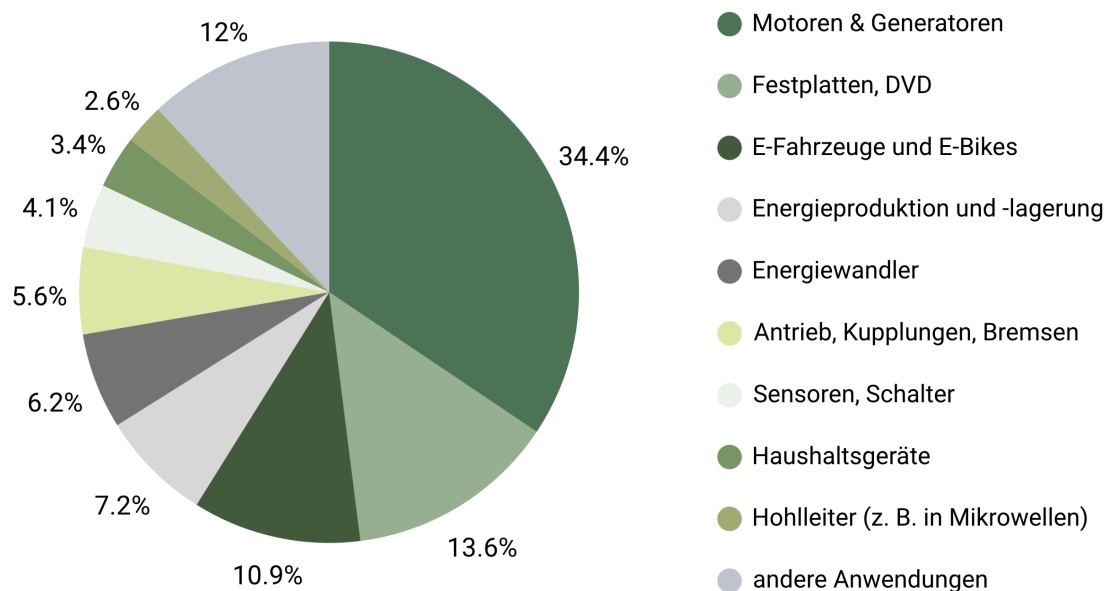


Abbildung 1: **Marktanteile von NdFeB-Magneten in verschiedenen Anwendungsbereichen** (Kumari & Sahu, 2023)

Obwohl die größten Magnetmengen in Großanlagen wie Windturbinen verwendet werden, entfällt der größte Marktanteil von NdFeB-Magneten auf industrielle Motoren und Generatoren mit etwa 34,4 %. Weitere bedeutende Anwendungen finden sich in Festplattenlaufwerken (13,6 %), Elektrofahrzeugen und E-Bikes (10,9 %) sowie in Bereichen wie Energieerzeugung und -speicherung, Sensorik, Antriebstechnik oder Haushaltsgeräten.

Neodym wird jedoch nicht nur in Permanentmagneten eingesetzt, sondern spielt auch eine wichtige Rolle in wiederaufladbaren Batterien, insbesondere Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH). In diesen Batterien dient Neodym als Bestandteil der Legierungsanode. Diese NiMH-Batterien kommen speziell in Hybrid-, Plug-in-Hybrid- sowie Elektrofahrzeugen zum Einsatz. Der Neodymanteil in der Anodenlegierung liegt bei etwa 2,3 Gewichtsprozent, wobei rund 10 % der weltweiten Neodymproduktion für diese Batterieanwendungen genutzt werden (Periyapperuma, 2021).

Die breite Anwendung in zentralen Industriebereichen – von Elektromotoren über Batterien bis hin zu energieerzeugenden Komponenten – zeigt, dass Neodym nicht nur in großen Einzelanwendungen, sondern in der Breite industrieller Wertschöpfungsketten eine Schlüsselrolle spielt. Dies unterstreicht die strategische Bedeutung von Neodym – sowohl für zentrale Zukunftstechnologien als auch für etablierte industrielle Wertschöpfungsketten.

Globale Versorgung und Abhängigkeiten

Obwohl Neodym in der Erdkruste relativ häufig vorkommt, ist die weltweite Versorgung mit erheblichen strukturellen und geopolitischen Risiken verbunden. Entscheidend ist die starke Konzentration entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von der Förderung über die chemische Raffination bis zur Magnetproduktion.

China dominiert die gesamte Wertschöpfungskette: Rund 60 % der weltweiten Förderung und über 90 % der Verarbeitungskapazitäten entfallen auf das Land. Diese Vormachtstellung basiert auf großen geologischen Vorkommen – etwa leichten Seltenen Erden in der Inneren Mongolei und schweren Elementen wie Dysprosium und Terbium in Südchina – sowie auf kostengünstigen Extraktionsverfahren, niedrigen Umweltauflagen und einer gezielten Industriepolitik. Seit den 2000er-Jahren haben viele westliche Unternehmen ihre Produktion nach China verlagert, wodurch sich diese Dominanz weiter verstärkte. Außerhalb Chinas

existieren nur wenige relevante Verarbeitungsanlagen, etwa in Malaysia und Estland. Die USA und Australien tragen zwar zusammen rund 23 % zur globalen Förderung bei, sind in der Raffination jedoch kaum präsent. Neue Anlagen in beiden Ländern befinden sich zwar im Aufbau, verarbeiten derzeit aber ausschließlich lokal gewonnene Rohstoffe – nicht zuletzt aufgrund chinesischer Exportrestriktionen (Depraite et al., 2025). Abbildung 2 verdeutlicht diese geografische Konzentration und die daraus resultierende Abhängigkeit:

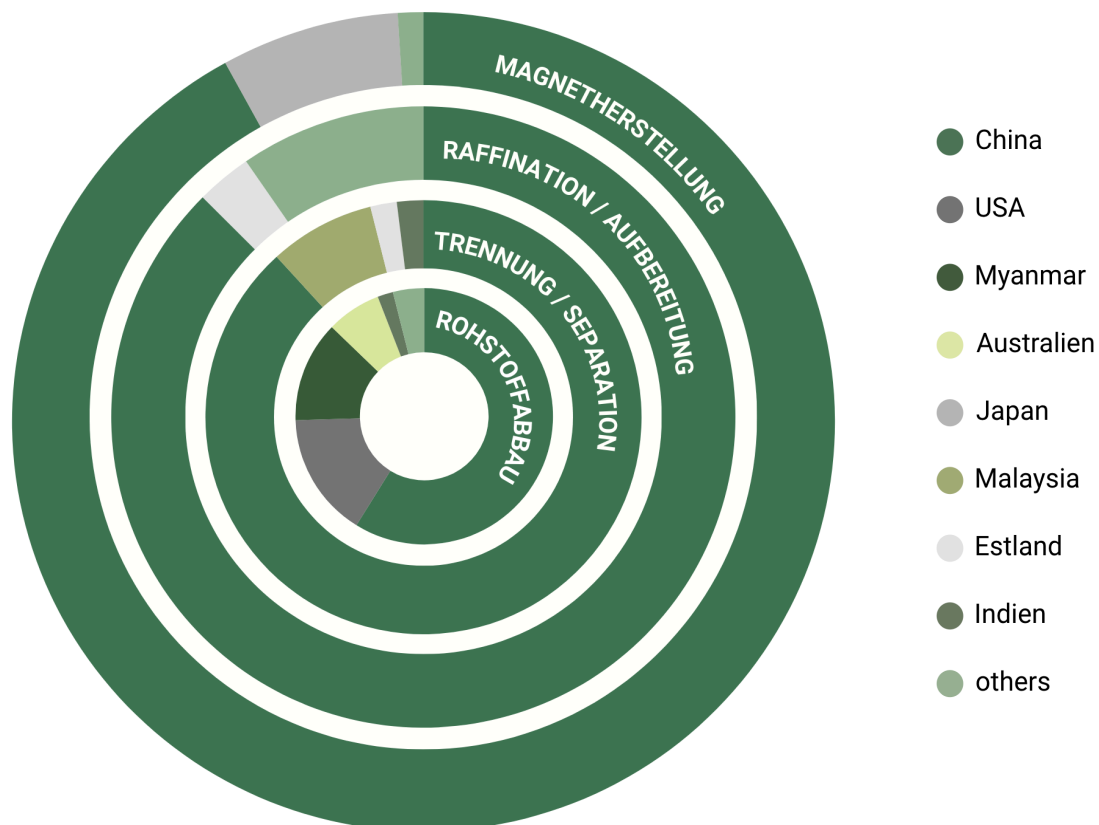
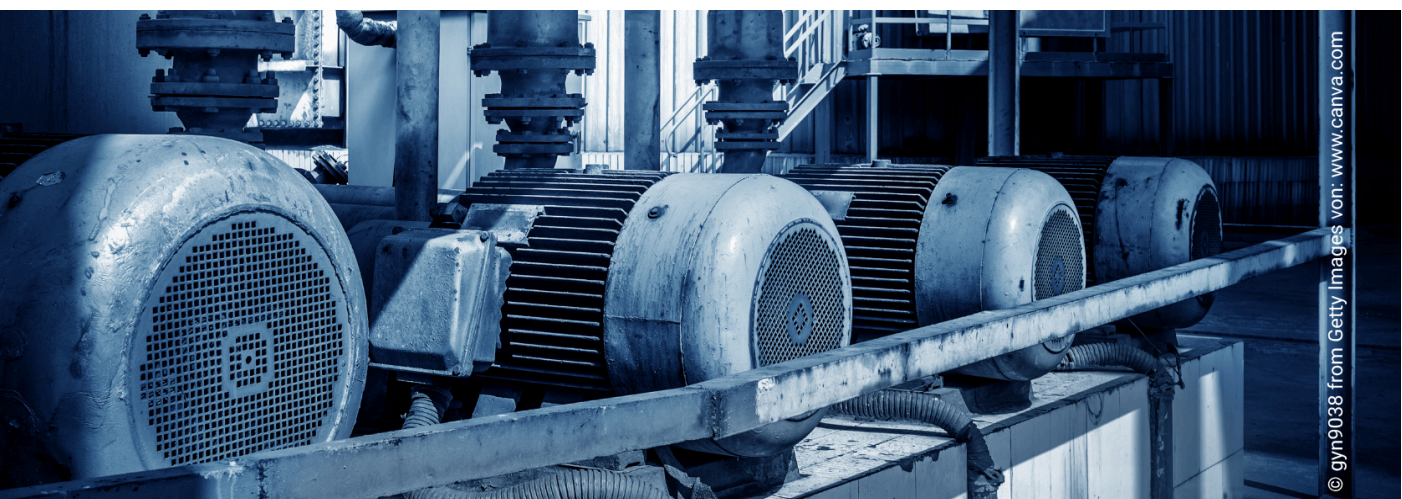


Abbildung 2: **Geographische Verteilung der Wertschöpfungsstufen von NdFeB-Magneten**
(Depraite, 2025)

Ein weiteres Versorgungsrisiko ergibt sich aus der fehlenden Regulierung des Marktes für seltene Erden. Anders als bei Rohstoffen wie Kupfer oder Aluminium erfolgen Handel und Preisbildung überwiegend über intransparente Over-the-Counter-(OTC)-Plattformen, wodurch verlässliche Informationen zu Preisen, Handelsvolumina und Produktionsmengen fehlen. Zudem stammt ein großer Teil der weltweiten Förderung aus informellen Minen, beispielsweise in China und Myanmar, was die Markttransparenz zusätzlich einschränkt (Depraite, 2025).

Chinas Dominanz und intransparente Plattformen treiben die Marktvolatilität und begünstigen Preisspekulationen sowie geopolitische Eingriffe. Zwischen 2001 und 2022 stieg daher der Preis für Neodym von etwa 10 USD/kg auf bis zu 130 USD/kg – ein Anstieg von über 1.200 %. China nutzt seine Marktmacht wiederholt, um durch Exportquoten, Zölle und andere Maßnahmen gezielt Einfluss auf den Weltmarkt zu nehmen, etwa während der seltene-Erden-Krise 2010 (Depraiter et al., 2025; Bose et al., 2024).

Die Nachfrage nach Neodym verschärft die Lage jedoch weiter: Allein im Automobilsektor könnte der Bedarf an NdFeB-Magneten bis 2030 auf über 250.000 t steigen – ein Zuwachs von mehr als 1.000 % gegenüber 2019. Zusammen mit dem Ausbau der Windkraft wird die globale Magnetnachfrage bis 2030 um rund 400 % steigen. Expert:innen warnen vor einem weltweiten Defizit von bis zu 135.000 t, da außerhalb Chinas kaum neue Produktionskapazitäten geplant sind (Kumari & Sahu, 2023).



Permanentmagnetmotoren gelten als besonders effizient und gewinnen in Industrie und Mobilität zunehmend an Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass ohne den Aufbau effizienter Rückgewinnungs- und Recyclinginfrastrukturen nicht nur eine kritische Versorgungslücke droht, sondern auch neben ökologischer Herausforderungen auch Potential für geopolitische Spannungen bestehen. Die Entwicklung zirkulärer Wertschöpfungsketten ist deshalb nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern auch ein strategischer Imperativ für Europas technologische und wirtschaftliche Souveränität.

ZIRKULARITÄT VON NEODYM

Trotz zahlreicher Prognosen, die bis 2040 eine Vervielfachung des weltweiten Neodym-Verbrauchs erwarten, bleiben die Rückführungsraten alarmierend niedrig (Yao et al., 2021). Die Ursachen sind vielfältig: lange Produktlebensdauern – etwa 20 bis 30 Jahre bei Windkraftanlagen –, geringe Rücklaufmengen bei Unterhaltungselektronik sowie fehlende Demontageinfrastruktur und unzureichend etablierte Sammelsysteme.

Die Erschließung neuer Primärquellen kann mit dem rasant wachsenden Bedarf nicht Schritt halten. Umso wichtiger ist es, zirkuläre Strategien in den Fokus zu rücken, die den Einsatz von Neodym über den gesamten Lebenszyklus hinweg effizient gestalten. Angesichts steigender Nachfrage und wachsender geopolitischer Unsicherheiten kommt dem Übergang zu einer echten Kreislaufwirtschaft für Neodym eine strategische Schlüsselrolle zu. Rückgewinnungstechnologien – etwa durch Refurbishment, werkstoffliches oder rohstoffliches Recycling – tragen nicht nur zur Versorgungssicherheit bei, sondern stärken die regionale Wertschöpfung und mindern signifikant ökologische Belastungen.

Im Folgenden werden zentrale Ansätze, technologische Entwicklungen und politische Rahmenbedingungen vorgestellt, die für eine zukunftsfähige Zirkularität von Neodym entscheidend sind. Dabei ist es besonders wichtig, Transparenz zu den Stoffströmen Neodym-haltiger Abfälle zu schaffen. Denn langfristig lässt sich die entstehende Versorgungslücke nur durch eine Kombination aus Design-for-Recycling, flächendeckender Sammlung und einer intelligenten Nutzung zirkulärer Optionen wirksam schließen.

DREI ZENTRALE KREISLAUFSTRATEGIEN

Um das in Altgeräten gebundene Neodym effektiv zurückzugewinnen, nennt die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) drei zentrale Ansätze: Wiederaufbereitung (Refurbishment), werkstoffliches Recycling und rohstoffliches Recycling. Dabei gilt es zu beachten, dass gemäß dem 9R-Framework Refurbishment eine höhere Priorität als Recycling besitzt – da Produkte dadurch länger im Nutzungskreislauf verbleiben und wertvolle Ressourcen effizienter erhalten bleiben ohne das all zu viel Energie dafür aufzuwenden.

Die zuvor genannten Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich ihres technischen Aufwands, der Einsatzbereiche sowie der jeweiligen Endprodukte – und lassen sich als abgestuftes Kreislaufkonzept verstehen. Den drei vorweg geschaltet soll erwähnt sein, dass eine direkte Wiederverwendung ohne große Eingriffe immer zu bevorzugen wäre, aktuell in den meisten Fällen jedoch noch vor großen Herausforderungen steht:

Wiederaufbereitung (Refurbishment) ist der direkteste und ressourcenschonendste Weg: Hierbei werden Magnete aus Altgeräten entnommen, gereinigt und erneut eingesetzt – z. B. nach dem Entmagnetisieren oder dem Aufbringen einer neuen Korrosionsschutzschicht. Voraussetzung ist, dass die Magnete in ausreichender Menge und geeigneter Qualität gesammelt werden und neue Anwendungsbereiche mit ähnlichen technischen Anforderungen bestehen. Das Potenzial ist hoch, jedoch bislang wenig erschlossen (Schönfeldt et al., 2024).

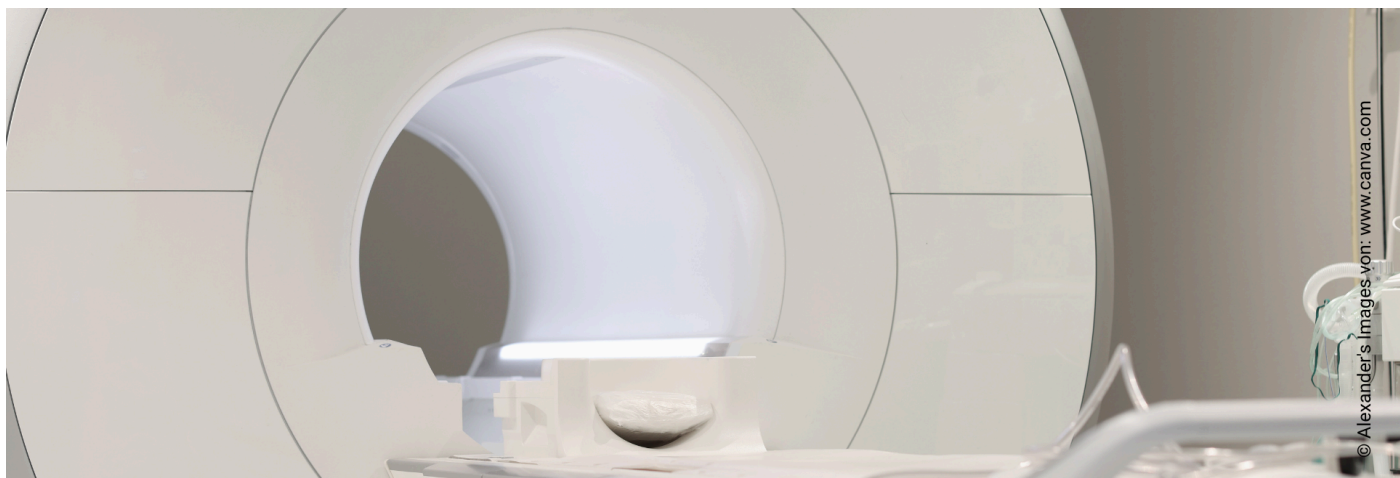
Werkstoffliches Recycling (auch funktionales oder direktes Recycling genannt) zielt darauf ab, die ursprüngliche Legierung – also das NdFeB-Material – weitgehend zu erhalten. Es eignet sich vor allem für saubere, sortenreine Sintermagnete. Vier Verfahren stehen derzeit im Fokus:

- **Hydrogen Decrepitation (HD):** Altmagnete werden mit Wasserstoff behandelt, wodurch sie verspröden und in Pulver zerfallen, das direkt wieder in die Magnetproduktion eingespeist werden kann.
- **HDDR (Hydrogenation Disproportionation Desorption Recombination):** Ähnlich wie HD, jedoch bei höheren Temperaturen und speziellen Drücken, erzeugt besonders feines, polykristallines Pulver, das für isotrope und anisotrope Magnete geeignet ist.
- **Umschmelzen:** Altmagnete werden induktiv eingeschmolzen und als Bandgussflocken erneut in den Produktionsprozess eingespeist, wobei Legierungsanpassungen möglich sind.
- **Melt-Spinning:** Schnelle Abkühlung der Schmelze führt zur Bildung nanokristalliner Strukturen, ideal für kunststoffgebundene Magnete. Das Verfahren ist kostengünstig und umweltfreundlich, benötigt aber gut vorsortiertes Material (Schönfeldt et al., 2024).

Rohstoffliches Recycling (auch als Long-Loop- oder elementares Recycling bezeichnet) ist chemisch aufwendiger, ermöglicht jedoch die Rückgewinnung von Neodym und anderen seltenen Erden auch aus gemischten oder kontaminierten Stoffströmen.

- **Hydrometallurgie:** Die Magnete werden in Säuren wie Salzsäure (HCl) oder Schwefelsäure (H₂SO₄) aufgelöst. Anschließend erfolgt die Trennung der seltenen Erden durch Verfahren wie Lösemittelextraktion, Ionenaustausch oder den Einsatz ionischer Flüssigkeiten.
- **Pyrometallurgie:** Die Stoffe werden bei hohen Temperaturen behandelt, z. B. in Salzschnmelzen oder mittels metallothermischer Reduktion, um sie in eine Form zu überführen, die eine selektive Abtrennung der seltenen Erden ermöglicht (Schönfeldt et al., 2024).

Beide Verfahren eignen sich auch für kunststoffgebundene oder geschredderte Magnetfraktionen. Allerdings bringen sie einen hohen Energiebedarf mit sich und erzeugen oft problematische Nebenprodukte. Um dennoch eine effiziente Kreislaufwirtschaft für Neodym-Magnete zu ermöglichen, sind zukunftsweisende Maßnahmen wie digitale Produktpässe, Materialkennzeichnungen (z. B. RFID oder QR-Codes) sowie automatisierte Demontagetechniken entscheidend. Diese sollen künftig dabei helfen, den passenden Recyclingpfad für jedes Produkt gezielt auszuwählen. Doch selbst mit geeigneten Verfahren stellt sich die zentrale Frage, ob neodymhaltige Produkte tatsächlich in ausreichendem Maße in die Recyclingkette zurückgeführt werden.



Auch im medizinischen Bereich spielen NdFeB-Magnete – und damit Neodym – eine zentrale Rolle, etwa in der Magnetresonanztomographie (MRT).

RÜCKGEWINNUNG IN DER PRAXIS: AKTEURE UND HINDERNISSE

Trotz bislang geringer Rückführungsquoten rückt Neodym zunehmend in den Fokus europäischer Rückgewinnungsinitiativen. Ein zentrales Beispiel dafür ist das Projekt SUSMAGPRO (Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare-Earth Magnets in a Circular Economy), das von 2019 bis 2023 mit rund 13 Millionen Euro aus dem Horizon-2020-Programm gefördert wurde. Ziel war es, eine europäische Kreislaufwirtschaft für NdFeB-Magnete zu etablieren und den Nachweis zu erbringen, dass recycelte Magnetwerkstoffe erfolgreich in neue industrielle Anwendungen integriert werden können (Europäische Kommission, 2024).

Im Mittelpunkt des Projekts stand die Entwicklung und Erprobung der sogenannten HPMS-Technologie (Hydrogen Processing of Magnetic Scrap). Dabei werden Altmagnete mit Wasserstoff behandelt, um sie gezielt zu verspröden und in magnetisches Pulver zu überführen, das anschließend gereinigt und wieder zu neuen Magneten verarbeitet werden kann. Dieser Prozess wurde erfolgreich in vier Pilotanlagen in Schweden, Großbritannien, Slowenien und Deutschland demonstriert – mit Rückgewinnungsraten von bis zu 25 %, was einen deutlichen Fortschritt gegenüber herkömmlichen Methoden darstellt. Auch Österreich war durch die Montanuniversität Leoben an der Prozessbewertung und Materialanalyse beteiligt (Europäische Kommission, 2024).

Die beteiligten Unternehmen verfügten über geplante Kapazitäten von bis zu 6 Tonnen NdFeB-Pulver pro Jahr in Schweden sowie bis zu 50 Tonnen jährlich in Slowenien und Großbritannien (SUSMAGPRO, 2025). Neben der technischen Umsetzung untersuchte das Projekt zudem die Materialflüsse unterschiedlicher End-of-Life-Produkte (EoL), darunter Festplatten, Elektromotoren und Windkraftanlagen. Während Festplatten derzeit eine zentrale Abfallquelle darstellen, wird künftig insbesondere mit steigenden Mengen aus Elektromobilität und erneuerbaren Energien gerechnet. Daher entwickelte SUSMAGPRO unter anderem Leitlinien zur Recyclingfähigkeit von Traktionsmotoren sowie Vorschläge zur Produktkennzeichnung, um künftige Demontage- und Verwertungsprozesse zu erleichtern (Burkhardt et al., 2023).

Parallel treiben auch internationale Akteure die Weiterentwicklung der Recyclingtechnologien voran: HyProMag plant gemeinsam mit der Universität Birmingham die industrielle Skalierung der HPMS-Methode, jener Methode, die auch im Rahmen von SUSMAGPRO

eingesetzt wurde (Schuschnigg & Kulka, 2023). In den USA vermarktet Noveon Magnetics als einzige Firma recycelte Magnete unter dem Namen EcoFlux. Darüber hinaus verfolgen Unternehmen wie REECycle und Cyclic Materials chemische Verfahren zur selektiven Rückgewinnung von Neodym. Auch europäische Konzerne wie GKN Powder Metallurgy und Neo Performance Materials prüfen aktuell, wie sich Rezyklate systematisch in ihre Produktionsketten integrieren lassen (Schönfeldt et al., 2024). Diese Beispiele geben nur einen kurzen Einblick in die Vielfalt der Unternehmen, die sich bereits intensiv mit dem Recycling von Neodym beschäftigen.

Diese Entwicklungen zeigen: Die Rückgewinnung von Neodym wird zunehmend als strategischer Hebel für Rohstoffsoveränität – sowohl in Europa als auch global – verstanden, vorausgesetzt, dass entsprechende regulatorische Impulse sowie Investitionen in Infrastruktur und Technologie den industriellen Transfer begleiten. Trotz wachsender technologischer Möglichkeiten bestehen jedoch weiterhin grundlegende strukturelle Barrieren, die einen effektiven Stoffkreislauf behindern. Die Herausforderungen liegen dabei oft außerhalb des Labors und betreffen vor allem die Sammlung, Exportpraktiken, das Produktdesign sowie die zeitliche Verfügbarkeit neodymhaltiger Abfälle. Diese Barrieren lassen sich in folgende Kategorien gliedern:

Fehlende Erfassung und Rücknahme im B2B-Bereich

Ein erheblicher Teil der Neodymverluste entsteht bereits bei der Erfassung. Bestimmte industrielle Produktgruppen wie Pumpen oder Roboter wurden lange Zeit nicht durch die europäische WEEE-Richtlinie geregelt, weshalb entsprechende Rücknahmeverpflichtungen fehlen (Van Nielen et al., 2023). Auch heute bestehen in vielen EU-Mitgliedstaaten keine umfassenden Systeme zur formellen Sammlung dieser Produkte, was zu einer signifikanten Untererfassung führt.

Materialverluste durch Re-Export und (il-)legale Ausfuhren

Gebrauchte neodymhaltige Produkte wie Festplattenlaufwerke (HDDs), Lautsprecher oder Fahrzeuge gelangen häufig durch legalen und illegalen Export in außereuropäische Märkte. Diese Verlagerung aus dem formellen Abfallstrom erschwert eine systematische Rückgewinnung innerhalb Europas erheblich (Van Nielen et al., 2023). Besonders im Bereich von Konsumgütern ist die Nachverfolgbarkeit gering, wodurch gut recycelbare Komponenten nicht im Recyclingprozess ankommen.

Designbedingte Einschränkungen bei der Rückgewinnung

Das Produktdesign stellt eine relevante Hürde dar, da in vielen Fällen die NdFeB-Magnete fest verklebt oder schwer zugänglich verbaut sind, wie etwa bei Lautsprechern oder industriellen Pumpen (Lixandru et al., 2017). Dadurch ist eine wirtschaftliche Demontage erschwert oder unmöglich. Diese designbedingten Verluste reduzieren die Recyclingeffizienz, unabhängig von der eingesetzten Rückgewinnungstechnologie.

Zeitliche Verschiebung von Rückflüssen

Neodymhaltige Anwendungen mit langer Lebensdauer, wie etwa Elektrofahrzeuge oder Windturbinen, sind derzeit noch kaum als Abfall verfügbar. Obwohl sie in der Zukunft relevante Sekundärquellen darstellen können, sind in der Gegenwart keine nennenswerten Rückflüsse zu erwarten (Van Nielen et al., 2023). Daraus ergibt sich eine zeitliche Verschiebung zwischen Verbrauch und potenzieller Wiederverwertung. Gleichzeitig stellt dies eine Chance dar, die Infrastruktur aufzubauen um die aktuell rasch wachsende Wertschöpfung dieser Produkte dann strategisch zu nutzen.

Einordnung

Die potenzielle Rückgewinnung von Neodym wird nicht nur durch technologische, sondern in hohem Maße durch infrastrukturelle und gestalterische Faktoren limitiert. Der tatsächliche Ertrag hängt stark davon ab, ob neodymhaltige Produkte überhaupt in geordnete Rückführungsprozesse gelangen.

Diese Herausforderungen verdeutlichen die Notwendigkeit, neben technologischen Entwicklungen auch Sammelquoten, Designvorgaben und politische Rahmenbedingungen systematisch in Recyclingstrategien einzubeziehen. Gleichzeitig bleibt jedoch offen, wie die Perspektiven für das Neodym-Recycling in den kommenden Jahren tatsächlich aussehen.

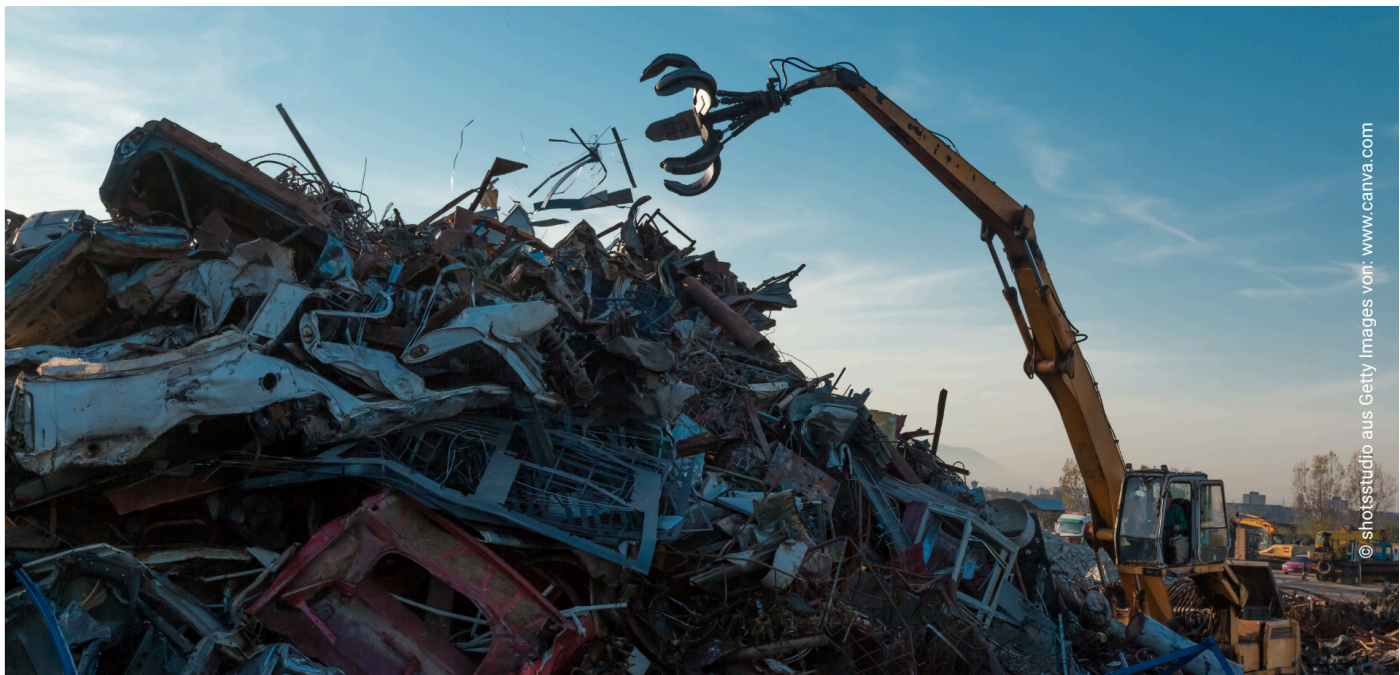
POTENZIALE FÜR RECYCLING

Trotz vielfältiger technologischer Optionen zur Rückgewinnung von Neodym bleibt das tatsächliche Recyclingpotenzial aktuell noch sehr gering. Im Jahr 2019 lag die Rückgewinnungsrate für NdFeB-Magnete bei unter 1 % (Yao et al., 2021). Gründe dafür sind fehlende Sammelinfrastrukturen, lange Produktlebenszyklen sowie wirtschaftliche Hemmnisse bei der Rückführung.

Eine Trendwende zeichnet sich jedoch mittelfristig ab:

- Für den Zeitraum 2025 bis 2030 wird mit einem deutlichen Anstieg an verfügbarem Neodymabfall aus der Elektromobilität gerechnet.
- Ab den 2030er Jahren folgen wachsende Mengen aus dem Rückbau von Windkraftanlagen.
- Gleichzeitig schrumpft das Potenzial aus Unterhaltungselektronik, vor allem weil magnetfreie SSDs die bisher verbreiteten NdFeB-haltigen Festplattenlaufwerke ersetzen.

Expert*innen gehen davon aus, dass erst ab 2030 ausreichend große Mengen ($\geq 1.000 \text{ t/Jahr}$) an Altmagneten zur Verfügung stehen, um ein wirtschaftlich tragfähiges industrielles Recycling zu ermöglichen (Schönfeldt et al., 2024). Das bedeutet, dass langfristig bis 2040 mehrere zehntausend Tonnen NdFeB-Material in Europa zurückgewonnen werden könnten – überwiegend aus Elektromobilität und Windkraft (Elwert et al., 2018).



Obwohl jährlich große Mengen Neodym in verschiedensten Anwendungen – von Festplatten bis hin zu Traktionsmotoren – eingesetzt werden, liegt die Recyclingquote in der EU bei unter 1 %. Deshalb ist es wichtig, eine effektive Recyclingstrategie zu entwickeln, um die Abhängigkeit von Drittstaaten zu verringern.

Diese Entwicklung spiegelt sich auch in Abbildung 3 wider, die die prognostizierte Verfügbarkeit von NdFeB-Abfällen in Europa von 2016 bis 2040 zeigt. Insbesondere ab 2030 ist ein starker Anstieg zu erwarten, ausgelöst durch den Alterungsrückfluss der neodymhaltigen Technologien.

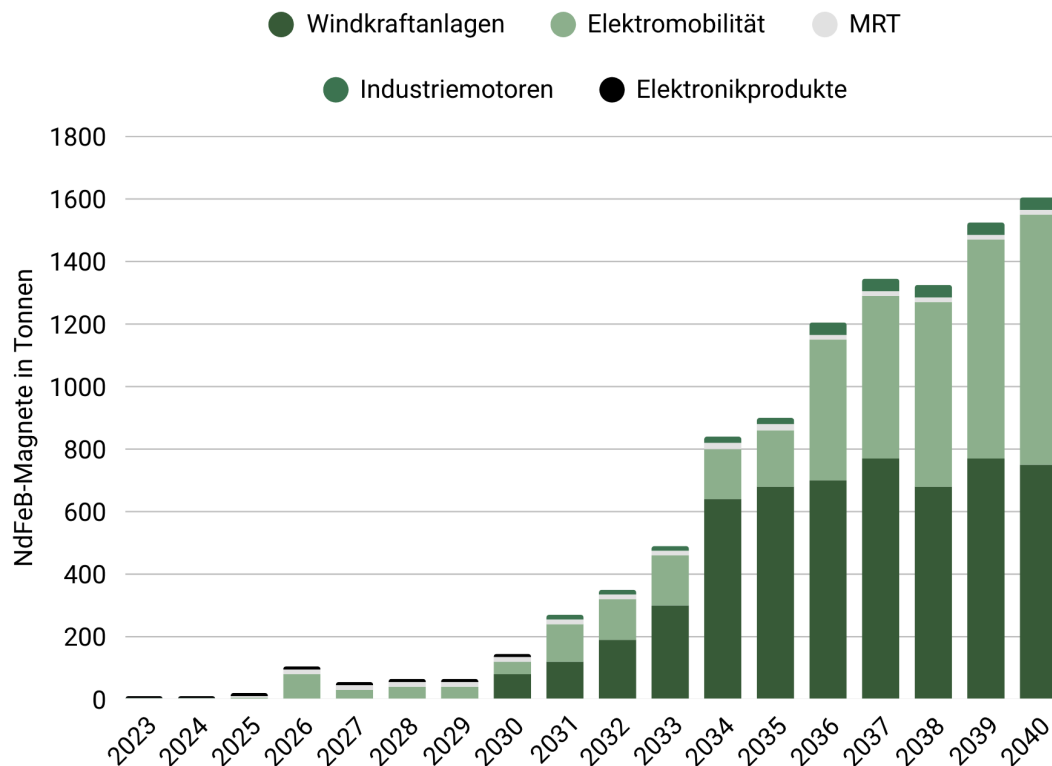


Abbildung 3: **Verfügbarkeit von NDFeB-Abfällen in Europa 2023 bis 2040** (Elwert et al., 2018)

Um dieses Potenzial auszuschöpfen, sind umfassende systemische Maßnahmen erforderlich: Neben dem Ausbau technischer Trenn- und Aufbereitungsverfahren sind gezielte Rücknahmesysteme, digitale Produktpässe, automatisierte Sortiertechnologien sowie wirtschaftliche Anreize entscheidend. Denn langfristig stellt das Recycling von NdFeB-Magneten nicht nur eine ökologische Notwendigkeit dar, sondern ist auch ein entscheidender Hebel zur Stärkung der europäischen Rohstoffsouveränität – gerade vor dem Hintergrund geopolitischer Abhängigkeiten und der steigenden Nachfrage nach strategischen Materialien.

RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN IN DER EU UND IN ÖSTERREICH

Die Etablierung einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft ist untrennbar mit politischen Rahmenbedingungen verbunden, die gezielt Anreize schaffen müssen, um eine schrittweise Unabhängigkeit in der Rohstoffversorgung zu ermöglichen. Insbesondere vor dem Hintergrund wachsender geopolitischer Unsicherheiten gewinnt dieses Ziel zunehmend an Bedeutung. Um die europäische Rohstoffsouveränität langfristig zu stärken und abzusichern, wurden in den vergangenen Jahren auf EU- wie auch auf nationaler Ebene zahlreiche Initiativen ins Leben gerufen. Diese zielen insbesondere darauf ab, das Recycling kritischer Rohstoffe – wie etwa Neodym – entscheidend voranzubringen und zu institutionalisieren.

Eine zentrale Säule dieser politischen Bestrebungen auf europäischer Ebene ist der im März 2023 vorgestellte European Critical Raw Materials Act (CRMA). Dieser Gesetzesvorschlag stuft Neodym ausdrücklich als strategischen Rohstoff ein – also als Material, das nicht nur von hoher wirtschaftlicher Relevanz ist, sondern gleichzeitig auch ein erhebliches Risiko hinsichtlich seiner Versorgung aufweist (European Commission, n.d.).

Diese Einschätzung basiert auf der aktuellen globalen Produktionslage: Im Jahr 2021 wurden weltweit rund 47.500 Tonnen Neodymoxid hergestellt – doch kein einziger Anteil davon stammte aus der Europäischen Union. Darüber hinaus findet die gesamte Raffinierung zentraler seltener Erden wie Neodym bislang vollständig außerhalb Europas statt (European Commission, n.d.).

Ganz anders stellt sich hingegen die Nachfrageseite dar: In der EU wird bereits bis zum Jahr 2030 eine Verfünf- bis Versechsfachung des Neodym-Bedarfs im Vergleich zu 2023 prognostiziert. Bis 2050 könnte sich dieser Wert sogar auf das Sechs- bis Siebenfache erhöhen. Auch auf globaler Ebene zeichnet sich ein ähnlicher Trend ab – hier könnte sich der weltweite Bedarf bis 2050 auf das Elfache bis Dreizehnfache der heutigen Nachfrage steigern. Haupttreiber dieser stark zunehmenden Dynamik sind vor allem der rasante Ausbau der Elektromobilität, der wachsende Anteil von Windkraft an der Energieerzeugung sowie der zunehmende Einsatz digitaler Schlüsseltechnologien. Studien zufolge dürfte die weltweite Neodym-Nachfrage im Jahr 2050 bereits das Dreifache der heutigen globalen Versorgungskapazität erreichen (Carrara et al., 2023).

Mit diesem Anstieg der Nachfrage kann das Angebot nicht Schritt halten. Deshalb reagiert die EU mit klaren Zielvorgaben im Critical Raw Materials Act (CRMA), die bis 2030 für kritische Rohstoffe verbindlich sind:



EU-INTERNE ROHSTOFFGEWINNUNG

Mindestens **10%** des jährlichen Verbrauchs der EU sollen aus eigener Förderung stammen



EU-INTERNE VERARBEITUNG

Mindestens **40%** des jährlichen Verbrauchs der EU sollen aus eigener Verarbeitung stammen



EU-INTERNES RECYCLING

Mindestens **15%** des jährlichen Verbrauchs der EU sollen durch Recycling gedeckt werden



EXTERNE LIEFERQUELLEN

Nicht mehr als **65%** des jährlichen Verbrauchs der EU an jedem strategischen Rohstoff dürfen in einer relevanten Verarbeitungsstufe aus einem einzelnen Drittstaat stammen (Europäische Kommission, 2023)

Zur Umsetzung werden sogenannte "Strategic Projects" identifiziert, auch im Bereich Recycling, die von beschleunigten Genehmigungen, Förderungen und Koordinierungsmaßnahmen profitieren. Ergänzt wird der CRMA durch den Circular Economy Action Plan, der Maßnahmen wie Design-for-Recycling, digitale Produktpässe und Ökodesign-Standards umfasst.

Auch Österreich verfolgt ambitionierte Ziele. Der Masterplan Rohstoffe 2030 und die Publikation "Ressourcennutzung Österreich 2024" definieren Strategien zur Förderung der Kreislaufwirtschaft, zur Sammlung und Sortierung von Altgeräten und zur Entwicklung innovativer Recyclingtechnologien. Besonders betont wird die Rolle von Forschungseinrichtungen und Förderprogrammen, um technische Lösungen für die Rückgewinnung seltener Erden voranzutreiben (Umweltbundesamt, 2024; Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2021).

Trotz dieser politischen Fortschritte bleibt die Herausforderung bestehen, von der Strategie zur Umsetzung zu kommen. Noch fehlen vielerorts die wirtschaftlichen Anreize, standardisierten Verfahren und die nötige Infrastruktur, um Recycling im industriellen Maßstab zu etablieren.

Mit der Inkraftsetzung der neuen Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (ESPR) verfolgt die EU das Ziel, die Zirkularität von Produkten deutlich zu verbessern – unter anderem bei Solchen, die kritische Rohstoffe wie unter anderem Neodym enthalten. Produkte mit Permanentmagneten, wie sie in Elektromotoren, Windkraftanlagen oder Medizingeräten verwendet werden, sollen künftig neue Informationspflichten erfüllen. Dazu zählen etwa die Offenlegung des Magnettyps, der chemischen Zusammensetzung und der Rückbauhinweise (Ragonnaud, 2024).

Ein zentrales Werkzeug dafür ist der digitale Produktpass, der wichtige Informationen zu Materialien, Recyclingfähigkeit und Reparierbarkeit entlang der Wertschöpfungskette bereitstellt. Ab etwa 2027/2028 ist mit der Einführung dieser Anforderungen zu rechnen. Die Maßnahmen sollen dazu beitragen, den Einsatz kritischer Rohstoffe transparenter zu machen, Recyclingprozesse zu fördern und die europäische Versorgungssicherheit zu stärken.

Doch was bedeutet das konkret für Unternehmen heute? Und welche praktischen Handlungsempfehlungen können den Übergang zu einer echten Kreislaufwirtschaft für Neodym unterstützen?

AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT

Die steigende Nachfrage nach Neodym in Schlüsseltechnologien wie Elektromobilität und Windkraft, gepaart mit den geopolitischen Risiken der aktuellen Lieferketten, unterstreicht die dringende Notwendigkeit, effektive Zirkularitäts-Strategien auf den Ebenen Reuse, Refurbishment, aber auch Recycling zu entwickeln und zu implementieren. Angesichts dieser Herausforderungen und der strategischen Bedeutung von Neodym für Europas technologische und wirtschaftliche Souveränität ist ein proaktives Handeln von Regierungen und Unternehmen unerlässlich. Es gilt, Rahmenbedingungen zu schaffen, die nicht nur die technische Rückgewinnung von Neodym ermöglichen, sondern auch Anreize für eine

umfassende Kreislaufwirtschaft setzen. Dies beinhaltet die Anpassung von Geschäftsmodellen, die Sicherstellung von Materialtransparenz und den Aufbau robuster Governance-Strukturen, um die zukünftige Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

VORBEREITUNG: WAS UNTERNEHMEN JETZT TUN SOLLTEN

Auch wenn funktionierende Neodym-Recyclingtechnologien in der EU derzeit meist nur in Forschungsprojekten oder Pilotanlagen erprobt werden, hält die EU-Kommission eine gesetzlich verankerte Mindestquote für recyceltes Neodym ab 2030 für realistisch. Um diesen ambitionierten Anforderungen ansatzweise nachzukommen, müssten Unternehmen mutige Maßnahmen und Investitionen in den Bereichen Produktdesign, Produktions-/Aufbereitungsprozesse, Geschäftsmodell, Compliance und Governance ergreifen. Angesichts der schwierigen wirtschaftlichen Umstände werden diese Entwicklungen jedoch ohne die richtigen Push-/Pull-Mechanismen Regulatorik nur schwer in Gang kommen.

Einerseits sollten Unternehmen Produkte so gestalten, dass die enthaltenen Magnete identifizierbar und leicht entnehmbar sind und Geschäftsmodelle bzw. Ökosysteme aufbauen, die es ihnen ermöglichen, auf die Produkte bzw. den Rohstoff zirkulär Zugriff zu haben. Dies erfordert neben Anpassungen im Produktdesign, vor allem auch das Adaptieren bzw. Neuaufsetzen von Produktions-/Verarbeitungsprozessen, den Aufbau neuer Geschäftsmodelle, wie bspw. Mietmodelle oder Refurbishment. Hinzu kommen neue Formen der Partnerschaften für Sammlung, Sortierung und Wiederaufbereitung, die bis dato nicht notwendig waren und entsprechend kaum gelebt wurden.. Hierfür sind Kooperationen und Projekte mit Sammel-, Sortier- und Recycling-Unternehmen notwendig.

Im Bereich Compliance ist es essentiell, Materialtransparenz sicherzustellen. Da der digitale Produktpass (DPP) mittelfristig für viele neodymhaltige Produkte verpflichtend wird (StandH Herbst 2025), sollten Unternehmen frühzeitig beginnen, die verwendeten Materialien und deren Herkunft systematisch zu dokumentieren. Außerdem müssen Compliance-Strukturen aufgebaut werden, die garantieren, dass die im DPP gespeicherten Informationen über die gesamte Produktlebensdauer plus mindestens zehn Jahre hinweg verfügbar bleiben – auch im Falle einer Insolvenz oder eines Rückzugs vom Markt.

Die Governance umfasst die systematische Abstimmung interner Prozesse und Lieferketten auf die Anforderungen des digitalen Produktpasses. Dies betrifft insbesondere die Erhebung und Speicherung von Materialdaten, die Kommunikation mit Zulieferern sowie die technische Gestaltung der Produkte. Unternehmen, die frühzeitig Datenstrukturen etablieren, verbindliche Rückbauinformationen sammeln und transparente Prozesse schaffen, sichern sich ab 2030 nicht nur die rechtliche Konformität, sondern auch entscheidende ökonomische Vorteile in einem zunehmend regulierten und nachhaltigkeitsorientierten Marktumfeld.

FORSCHUNGSLÜCKEN UND WO THINKUBATOR ZUSAMMENARBEITEN BZW. UNTERSTÜTZEN KANN

Als Thinkubator sind wir überzeugt, dass Innovationen besonders dort entstehen, wo Wissenschaft, Innovation / Industrieforschung und Unternehmenspraxis eng zusammenarbeiten. Basierend auf den Erkenntnissen dieses Whitepapers sehen wir zentrale Forschungsfelder, die entscheidend sind, um die Herausforderungen der Neodym-Kreislaufwirtschaft zu meistern. Wir möchten Sie einladen, gemeinsam mit uns diese Felder aktiv zu gestalten und Lösungen zu entwickeln, die die europäische Rohstoffsouveränität stärken.

Unsere Schwerpunkte liegen auf folgenden Forschungsfeldern:

- Ausarbeitung und Skalierung von Refurbishment/Remanufacturing Business Cases für bestimmte Produkte/Produktgruppen
- Skalierung automatisierter Demontage- und Sortierprozesse für Neodym-Magnete in komplexen End-of-Life-Produkten
- Entwicklung nachhaltiger und energieeffizienter Recyclingverfahren mit Fokus auf ressourcenschonende Technologien
- Prognosemodelle und Materialflussanalysen zur Optimierung von Recyclinginfrastrukturen und zur frühzeitigen Identifikation von Engpässen

- Erstellung branchenspezifischer Design-for-Circularity-Leitfäden, die die Integration, Zugänglichkeit und Trennbarkeit von Neodym-Magneten verbessern

Darüber hinaus sehen wir weiteres Potenzial in:

- Gestaltung flexibler Sammel- und Logistiknetzwerke für neodymhaltige Komponenten in Europa
- Entwicklung wirtschaftlicher Rücknahme- und Rückkaufmodelle für Industrie- und Konsumgüter
- Anreizsysteme und regulatorische Strategien zur Steigerung der Rücklaufquoten
- Konzepte für digitale Produktpässe und transparente Materialfluss-Monitoring-Systeme
- Bewertung von Design-for-Disassembly-Prinzipien im Lebenszyklus und deren Einfluss auf die Recyclingfreundlichkeit

Dabei müssen wir gleichzeitig bestehende Hürden adressieren, wie etwa:

- Mangelnder Zugriff auf neodymhaltige Altprodukte, die aufgrund von Exportströmen Europa verlassen
- Produktdesigns, die eine Sammlung und Aufarbeitung von Neodym-Magneten erschwert bzw. wirtschaftlich nicht tragfähig machen.
- Fragmentierte Sammelsysteme und fehlende Materialtransparenz
- Fehlende interoperable Datenstandards und Designrichtlinien, die eine effiziente Demontage erschweren

Gemeinsam wollen wir diese Herausforderungen angehen und mit den wissenschaftlich und wirtschaftlich relevanten Organisationen praxisnahe, innovative Lösungen entwickeln, um die Kreislaufwirtschaft für Neodym entscheidend voranzubringen!

Bei Interesse nehmen Sie gerne Kontakt mit uns auf, über unsere Homepage oder auch gerne direkt, unter:

office@thinkubator.earth

LITERATURVERZEICHNIS

Binder H. (1999): Lexikon der chemischen Elemente. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1999, ISBN 3-7776-0736-3.

Bose, R., Sun, X., & Timoshenko, J. (2024). Critical Materials Market Outlook. International Materials Review, 69(1), 1–18.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2021). Masterplan Rohstoffe 2030.

Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, A., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., Pennington, D. and Christou, M., Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/386650, JRC132889.

Choi, S. U., Han, S. C., & Yun, J. I. (2023). In situ detection of neodymium isotopes using tunable diode laser absorption spectroscopy for nuclear forensic analysis. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 38(1), 166-173.

Depraeter L., Goutte S., Porcher T. (2025): Geopolitical risk and the global supply of rare earth permanent magnets: Insights from China's export trends, Energy Economics, Volume 146.

Elwert, T., Schwarz, S., Bergamos, M., & Kammer, U. (2018). Entwicklung einer industriell umsetzbaren Recycling-Technologieketten für NdFeB-Magnete – SEMAREC. ReSource – Abfall, Rohstoff, Energie, 4(2018), 253–272.

Europäische Kommission (2023). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020. Brüssel.

Europäische Kommission (2024): Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare-Earth Magnets in a Circular Economy (SUSMAGPRO). URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/821114> [Stand: 31.07.2025].

European Commission, Joint Research Centre. (n.d.). Neodymium – Raw Materials Information System. <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Neodymium>

Glöser-Chahoud, S., Kühn, A., & Tercero Espinoza, L. A. (2016). Globale Verwendungsstrukturen der Magnetwerkstoffe Neodym und Dysprosium (Working Paper S05/2016).

Kumari, A., & Sahu, S. K. (2023). A comprehensive review on recycling of critical raw materials from spent neodymium iron boron (NdFeB) magnets. Separation and Purification Technology, 317, 123527.

Lixandru, A., Venkatesan, P., Jönsson, C., Poenaru, I., Hall, B., Yang, Y., ... & Gutfleisch, O. (2017). Identification and recovery of rare-earth permanent magnets from waste electrical and electronic equipment. Waste Management, 68, 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.028>

Omodara, L., Pitkäaho, S., Turpeinen, E. M., Saavalainen, P., Oravisjärvi, K., & Keiski, R. L. (2019). Recycling and substitution of light rare earth elements, cerium, lanthanum, neodymium, and praseodymium from end-of-life applications-A review. Journal of Cleaner Production, 236, 117573.

Patel, K. S., Sharma, S., Maity, J. P., Martín-Ramos, P., Fiket, Ž., Bhattacharya, P., & Zhu, Y. (2023). Occurrence of uranium, thorium and rare earth elements in the environment: A review. Frontiers in environmental Science, 10, 1058053.

Periyapperuma, K., Sanchez-Cupido, L., Pringle, J. M., & Pozo-Gonzalo, C. (2021). Analysis of sustainable methods to recover neodymium. Sustainable Chemistry, 2(3), 550-563.

Ragonnaud, G. (2024). Critical raw materials act (EU Legislation in Progress Briefing No. PE 747.898). European Parliamentary Research Service. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/747898/EPRS_BRI\(2023\)7478_98_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/747898/EPRS_BRI(2023)7478_98_EN.pdf)

Schuschnigg, S., & Kukla, C. (2023). Susmagpro. Postersitzung präsentiert bei 31. Leobener Kunststoffkolloquium - 31st Leoben - Conference on Polymer Engineering & Science, Leoben, Österreich.

Schönfeldt, M., Diehl, O., & Gassmann, J. (2024). Recycling von NdFeB-Magneten in Deutschland: Auftragsstudie. Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Susmagpro (2025): Susmagpro plants. Project recycling / recovery pilots and reprocessing routes. URL: <https://www.susmagpro.eu/where-find-us/susmagpro-plants> [Stand: 31.07.2025].

Umweltbundesamt (2024). Ressourcennutzung Österreich 2024 – Indikatoren, Trends und Maßnahmen. Wien.

Van Nielen, S. S., Sprecher, B., Verhagen, T. J., & Kleijn, R. (2023). Towards neodymium recycling: Analysis of the availability and recyclability of European waste flows. Journal of Cleaner Production, 394, 136252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136252>

Yao, T., et al. (2021). Dynamic neodymium stocks and flows analysis in China. Resources, Conservation and Recycling, 174, 105752.

ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Tabelle 1: NdFeB-Magneteinsatz nach Anwendung (Kumari & Sahu, 2023)

Kumari, A., & Sahu, S. K. (2023). A comprehensive review on recycling of critical raw materials from spent neodymium iron boron (NdFeB) magnets. Separation and Purification Technology, 317, 123527.

Abbildung 1: Marktanteile von NdFeB-Magneten in verschiedenen Anwendungsbereichen

Kumari, A., & Sahu, S. K. (2023). A comprehensive review on recycling of critical raw materials from spent neodymium iron boron (NdFeB) magnets. Separation and Purification Technology, 317, 123527.

Abbildung 2: Geographische Verteilung der Wertschöpfungsstufen von NdFeB-Magneten

Depraiter L., Goutte S., Porcher T. (2025): Geopolitical risk and the global supply of rare earth permanent magnets: Insights from China's export trends, Energy Economics, Volume 146.

Abbildung 3: Verfügbarkeit von NDFeB-Abfällen in Europa 2016 bis 2040

Elwert, T., Schwarz, S., Bergamos, M., & Kammer, U. (2018). Entwicklung einer industriell umsetzbaren Recycling-Technologiekette für NdFeB-Magnete – SEMAREC. ReSource – Abfall, Rohstoff, Energie, 4(2018), 253–272.

**Thinkubator– Verein zur Forschung
und Umsetzung nachhaltiger Lösungen**

Heumühlgasse 11

1040, Wien

office@thinkubator.earth

<https://www.thinkubator.earth/>

<https://www.linkedin.com/company/thinkubator-earth/>