



Fachbereich WD 5

Kosten von Windenergieanlagen und bestimmten Seltenen Erden

Kosten von Windenergieanlagen und bestimmten Seltenen Erden

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 085/25
Abschluss der Arbeit: 20. November 2025
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Klima

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Auftrag	4
2.	Kosten einer Windkraftanlage	4
2.1.	Hauptinvestitionskosten	4
2.2.	Investitionsnebenkosten	6
2.3.	Betriebskosten	7
2.4.	Rückbaukosten	8
3.	Seltene Erden in WEA und ihre Kosten	8
3.1.	Bestandteil von Permanentmagneten	9
3.2.	Preisentwicklung	11
4.	Weitere Quellen	14

1. Auftrag

Auftragsgemäß werden in dieser Dokumentation die durchschnittlichen Kosten einer Windenergieanlage (WEA) von der Planung über die Realisierung und den Betrieb bis zum Rückbau dargestellt. Die Angaben zu den Kosten einer Windenergieanlage an Land wurden dem Bericht der Deutschen WindGuard et al. (2024) entnommen.¹ Der Bericht unterstützt das Bundeswirtschaftsministerium bei der Vorbereitung eines Erfahrungsberichts über die Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien.²

Außerdem werden die in WEA verwendeten Seltenen Erden sowie deren Kosten aufgeführt.

2. Kosten einer Windkraftanlage

Die Kosten für eine WEA hängen von vielen Faktoren ab, u.a. vom Standort, ob die WEA an Land (onshore) oder auf See (offshore) steht, von der Nabenhöhe (100 oder 300 m), von der Leistungsklasse (3 Megawatt oder über 6 Megawatt), von der Gründungsstruktur, spezifischen Genehmigungsvoraussetzungen, standortspezifische Transportfaktoren, Planungsfaktoren etc. Demzufolge variieren auch Kostenangaben um Größenordnungen und sind grundsätzlich vor dem Hintergrund der zugrundeliegenden spezifischen Voraussetzungen zu sehen.

2.1. Hauptinvestitionskosten

„Die **Hauptinvestitionskosten** umfassen alle Komponenten der Windenergieanlage (Rotor, Gondel, Turm und Fundament), die **Logistik-** und **Transportkosten** der Anlagen zum jeweiligen Projektstandort sowie die **Installationskosten**. Üblicherweise werden Logistik und Installation vom Hersteller übernommen und **in die Anlagenpreise** einkalkuliert.“³

Die durchschnittlichen Hauptinvestitionskosten je Kilowatt (kW) installierter Leistung wurden auf der Basis von Daten von 64 WEA-Typen ermittelt und finden sich in Abbildung 1 untergliedert nach den Leistungsklassen (von 3 MW bis über 6 MW) und der Gesamthöhe (zwischen 100 und 300 m).⁴

1 [Deutsche WindGuard, 2024], Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gem. § 99 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) zum spartenspezifischen Vorhaben ‚Windenergie an Land‘, Kostensituation der Windenergie an Land, Stand 2024, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, Bericht vom 01. Oktober 2024, zuletzt korrigiert am 2. Dezember 2024, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/eeg-eb-wal-kostensituation-2024.pdf?__blob=publication-File&v=12.

2 § 99 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023).

3 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 11, Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

4 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 12.

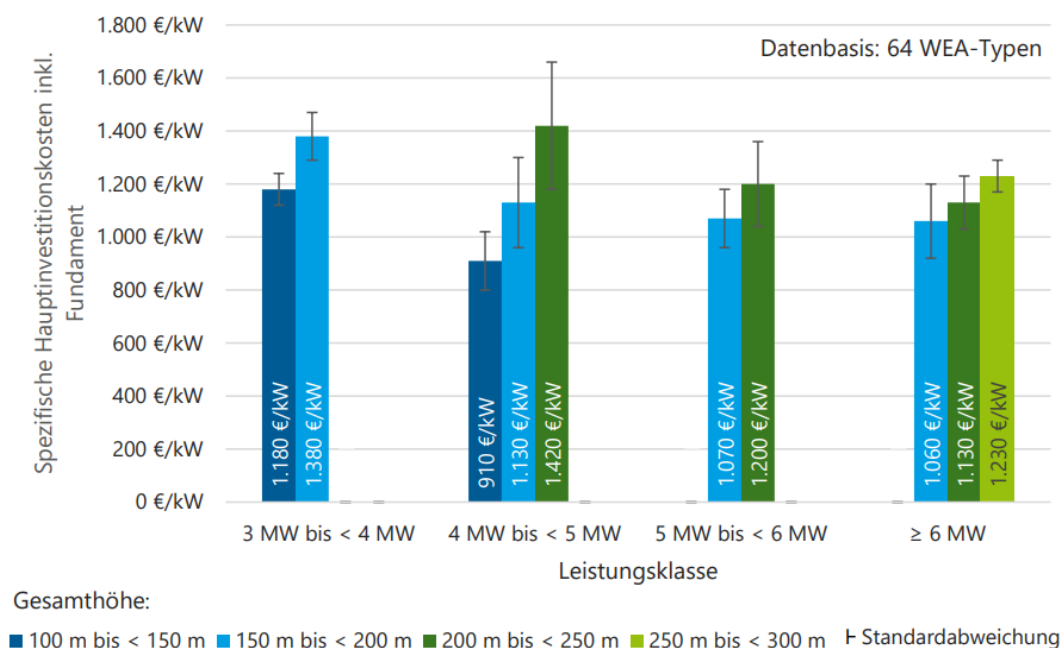


Abbildung 1: Spezifische Hauptinvestitionskosten inkl. Fundament (netto) im Jahr 2024 mit Standardabweichung nach Leistungsklasse und Gesamthöhe.⁵

Im Jahr 2024 lagen die spezifischen Hauptinvestitionskosten inklusive Fundament zwischen 910 €/kW und 1.420 €/kW⁶.

Laut Deutsche WindGuard et al. (2024) sanken die spezifischen Hauptinvestitionskosten für WEA von 2015 bis 2020.⁷ Ab 2020 wurde eine nominale Erhöhung der Kosten festgestellt und sei auf die steigenden Rohstoff- und Logistikkosten zurückgeführt worden. Anfang 2022 habe sich diese Entwicklung durch den Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine weiter verstärkt.⁸ Die Hauptinvestitionskosten inkl. Fundament von 2015 bis 2024 sind in der Abbildung 2 dargestellt:

⁵ [Deutsche WindGuard, 2024], S. 12.

⁶ 1.000 kW sind 1 MW.

⁷ [Deutsche WindGuard, 2024], S. 17.

⁸ [Deutsche WindGuard, 2024], S. 17.

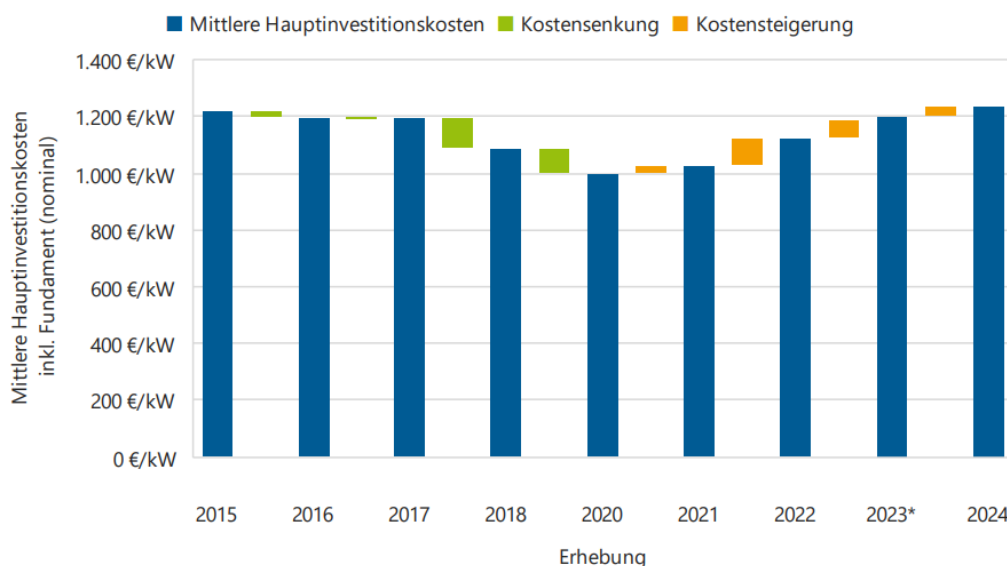


Abbildung 2: Mittlere nominale Hauptinvestitionskosten inkl. Fundament in €/kW.⁹ *Erhebung in Q4 2022.

2.2. Investitionsnebenkosten

Zu den Investitionsnebenkosten zählen die Kosten für Planung, Netzanbindung¹⁰, Infrastruktur¹¹ sowie für Kompensationsmaßnahmen¹² und sonstige Ausgaben¹³:

Die für Windenergieanlagen mit Inbetriebnahme zwischen 2024 und 2026 ermittelten **Investitionsnebenkosten (ohne Fundament)** liegen bei **506 € je kW**. Mit einem Anteil von 40 % sind die **Planungskosten** der mit Abstand größte Posten innerhalb der Investitionsnebenkosten. Darauf folgen Netzanbindungskosten mit 23 %, Infrastrukturkosten^l mit 20 % und sonstige Kosten mit 13 %. Die Kompensationsmaßnahmen^l stellen mit 4 % der

9 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 17.

10 Netzanbindungskosten „beinhalten die Kosten für alle zum Netzanschluss notwendigen Kabelarbeiten (einschließlich der parkinternen Verkabelung) sowie die anfallenden Kosten für die häufig notwendige Errichtung von Umspannwerken oder Übergabestationen für das jeweilige Projekt.“, [Deutsche WindGuard, 2024], S. 19f.

11 Zu den Infrastrukturkosten gehören vor allem die Aufwendungen zur Erschließung der Windparkflächen, insbesondere der Wegebau für den Zugang zum Anlagenstandort, die Vorbereitung von Kranstellflächen und Montageflächen zur Errichtung der Anlagen. [Deutsche WindGuard, 2024], S. 20.

12 Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen bzw. Ersatzzahlungen gemäß Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). [Deutsche WindGuard, 2024], S. 20.

13 Sonstige Kosten sind beispielsweise Kosten für Entschädigungen in der Bauphase, die Übernahme von Altanlagen im Rahmen von Repoweringprojekten oder das Sicherheitsmanagement des Projekts, auch werden Bankgebühren und Kosten der Vor- oder Zwischenfinanzierung hierunter subsumiert. Die als sonstige Kosten deklarierten Posten variieren projektspezifisch stark. [Deutsche WindGuard, 2024], S. 20.

Investitionsnebenkosten die kleinste separat ausgewiesene Position dar. Die **Standardabweichung** ist bei den zu den Investitionsnebenkosten gemeldeten Daten sehr hoch und beträgt 43 %.¹⁴

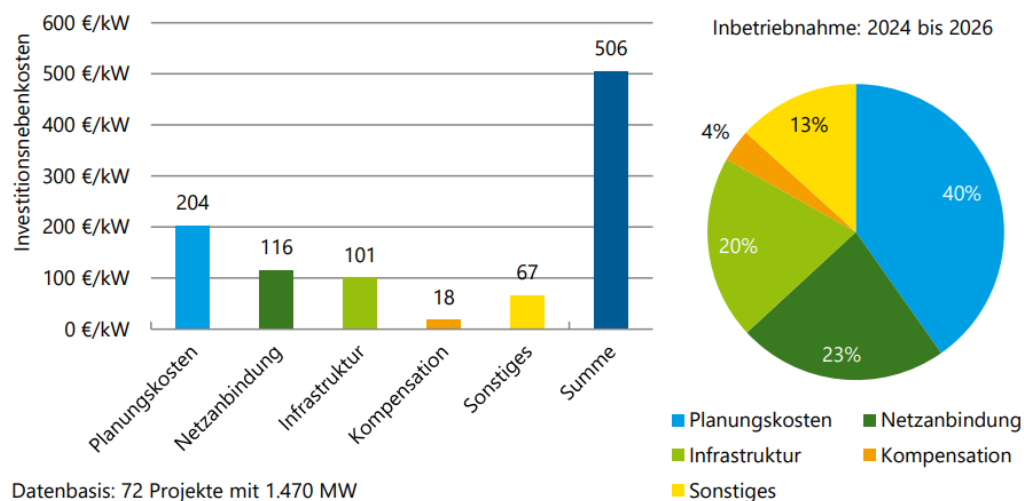


Abbildung 3: Spezifische Investitionsnebenkosten (netto) in €/kW sowie durchschnittliche Anteile der Kostenpositionen an den gesamten Investitionsnebenkosten bei Inbetriebnahme von 2024 bis 2026.¹⁵

Der Personalaufwand für die Projektentwicklung macht einen Großteil der Planungskosten aus. Zu den Planungskosten gehören auch die Kosten für die verschiedenen Gutachten, wie ein Wind- und Turbulenzgutachten, Schallgutachten, ökologisches Gutachten, Standortgutachten, Ertragsprognosen etc. Darüber hinaus können sich weitere Kosten ergeben, beispielsweise durch die Änderung von Bebauungs- oder Flächennutzungsplänen oder die Erteilung einer Genehmigung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz. Die Tatsache, dass die Planungskosten mit 40 % der Investitionsnebenkosten die größte Position ausmachen, ist auf die langen Zeiträume der Projektentwicklung zurückzuführen.¹⁶

2.3. Betriebskosten

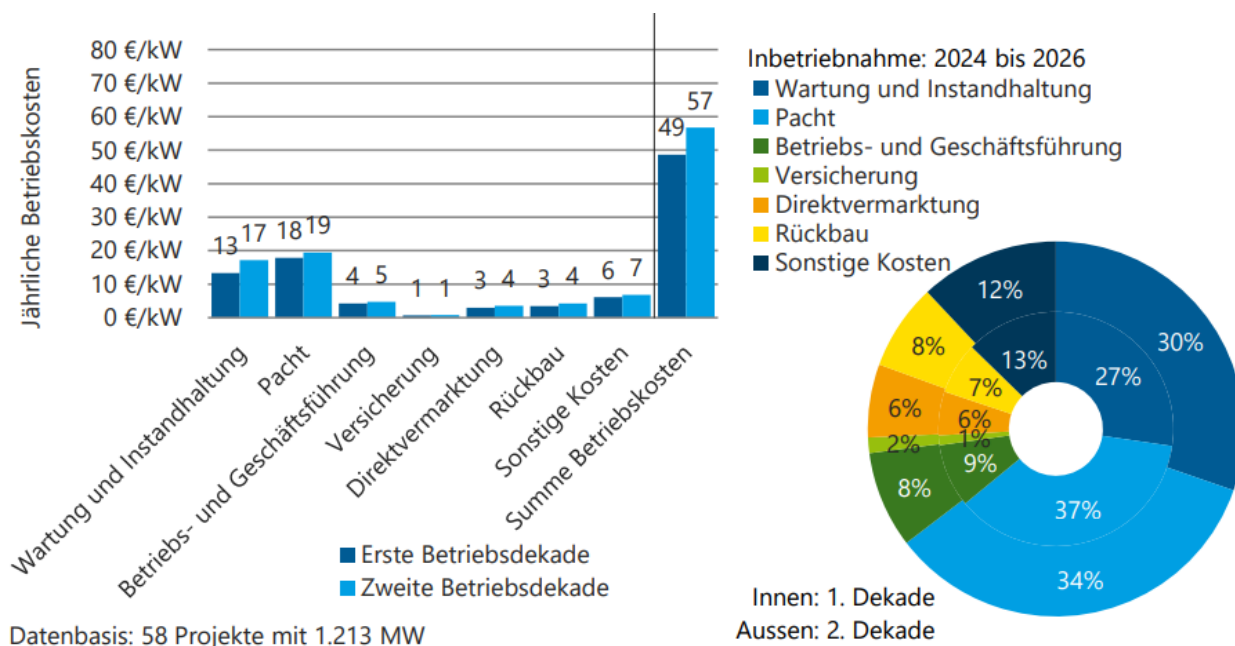
Die Betriebskosten sind die Kosten, die zur Aufrechterhaltung des Betriebs der WEA regelmäßig anfallen, wie Wartung und Instandhaltung, Pacht, Betriebs- und Geschäftsführung, Versicherungskosten, Rücklagen für den Rückbau sowie sonstige Betriebskosten und auch die Direktvermarktungskosten.¹⁷

14 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 18, Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

15 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 19,

16 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 19.

17 [Deutsche WindGuard, 2024], S. 25.

Abbildung 4: Betriebskosten.¹⁸

2.4. Rückbaukosten

Windenergieanlagen (WEA) werden in der Regel nach 20 bis 30 Jahren zurückgebaut.¹⁹ Zu den Rückbaukosten für WEA siehe ausführlich Wissenschaftliche Dienste, WD 5 – 087/25.²⁰

3. Seltene Erden in WEA und ihre Kosten

Die 17 Metalle der Seltenen Erden (auch Seltenerdmetalle oder Rare Earth Elements, REE) kommen in der Erdkruste nicht selten vor, sind allerdings sehr aufwändig und wenig umweltschonend aus Mineralien und Erzen zu extrahieren. Sie werden in vielen Hochtechnologien und in der Energiespartechologie eingesetzt, so auch in Magneten für WEA. Dort werden insbesondere die Seltenen Erden Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium verwendet.

Neodym und Praseodym gehören zu den leichten Seltenen Erden (LREE) und kommen in den meisten Lagerstätten häufiger vor als die schweren Seltenen Erden (HREE), zu denen

¹⁸ [Deutsche WindGuard, 2024], S. 25.

¹⁹ Umweltbundesamt (2020), Windenergieanlagen: Rückbau, Recycling, Repowering, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/windenergieanlagen-rueckbau-recycling-repowering>.

²⁰ <https://www.bundestag.de/resource/blob/1127440/WD-5-087-25.pdf>.

beispielsweise Dysprosium und Terbium gezählt werden.²¹ Dies wirkt sich in der Regel auch auf den Rohstoffpreis aus.

3.1. Bestandteil von Permanentmagneten

Die derzeit stärksten in WEA verwendeten Permanentmagnete bestehen aus **Neodym-Eisen-Bor (NdFeB)**. Sie besitzen eine hohe Magnetkraft und sind sehr hitzebeständig. Dies verbessert die Zuverlässigkeit der Anlagen und senkt die Wartungskosten. Laut der Deutschen Rohstoffagentur bestehen NdFeB-Magnete

„zu 60–70 % aus Eisen, 30–32 % Seltenen Erden (hauptsächlich Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium) und 1 % Bor mit Zusätzen an Gadolinium, Kobalt, Kupfer, Aluminium, Gallium und Niob, um die magnetischen und physikalischen Eigenschaften zu verbessern.“²²

Neodym (Nd) ist als Legierungsbestandteil von NdFeB-Magneten mit 20 bis 30 % vertreten, gefolgt von **Praseodym** (Pr) mit 0,5 bis 7 %, **Dysprosium** (Dy) mit 0,2 bis 6 % und **Terbium** (Tb) mit 0,2 bis 2 %:

Element	Gehalt [Gew. %]	Wirkung
Fe	60–70	Bildung der hartmagnetischen $SE_2Fe_{14}B$ -Phase
Nd	20–30	
Pr	0,5–7	
B	0,3–1	
Dy	0,2–6	Verbesserung Temperaturbeständigkeit, Erhöhung der Koerzitivfeldstärke
Tb	0,2–2	
Gd	0,1–3	Verbesserung des Temperaturkoeffizienten
Co	0,4–3	Erhöhung der Curie-Temperatur, Verbesserung des Korrosionsverhaltens
Cu	0,1–0,9	Verbesserung des Sinterverhaltens
Al	0,1–0,9	
Ga	0,1–0,3	Erhöhung der Koerzitivfeldstärke und Heißumformbarkeit der Legierung
Nb	0,1–0,3	Kornfeinung

Abbildung 5: Typische Legierungsbestandteile von NdFeB-Magneten in Gew. % und ihre Wirkung.²³

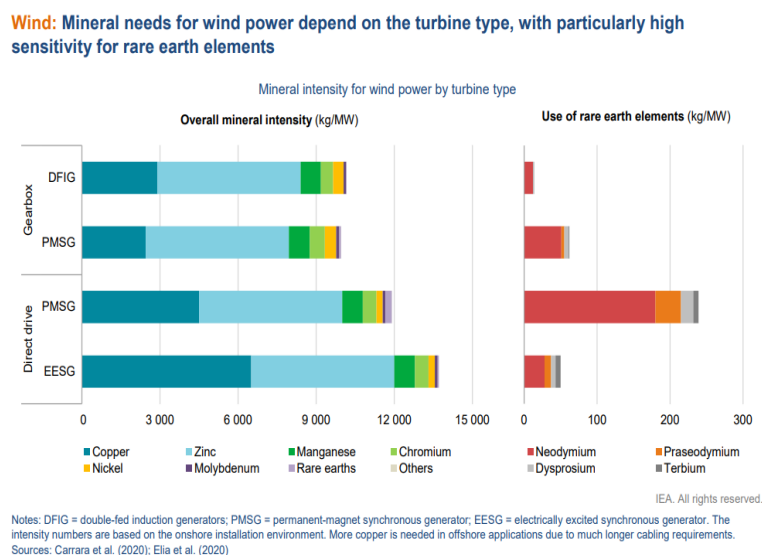
21 Vgl. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/m-seltene-erden.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

22 S. 9, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

23 https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Beinahe 100 Prozent der **Windkraftanlagen auf See** haben heute im Generator Permanentmagnete aus Seltenen Erden. Bei Onshore-Anlagen liegt der Anteil bei 20 Prozent.²⁴ Insbesondere getriebebelose Windkraftanlagen, auch als direkt angetrieben oder als **direct drive (DD)** bezeichnet²⁵, benötigen Praseodym, Dysprosium, Terbium oder Neodym.²⁶

Der International Energy Agency (IEA) zufolge, sei nicht nur die Turbinengröße entscheidend für den Mineralbedarf, sondern auch der Turbinentyp. Von den vier Turbinen-Haupttypen seien zwei mit Getriebe (gearbox, GB) und zwei ohne Getriebe (DD). Siehe Abbildung 6:



Legende: gearbox double-fed induction generator (GB-DFIG), gearbox permanentmagnet synchronous generator (GB-PMSG), direct-drive permanentmagnet synchronous generator (DD-PMSG) and direct-drive electrically excited synchronous generator (DD-EESG).

Abbildung 6: Verwendung von Seltenen Erden in verschiedenen Turbinentypen.²⁷

24 https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2023/10/Factsheet_Resiliente-Lieferketten_Wind-Permanentmagnete.pdf.

„Im Gegensatz zu Elektromagneten benötigen Permanentmagnete keine externe Stromversorgung zur Aufrechterhaltung ihres Magnetfelds. Dies führt zu geringeren Wartungskosten und einer geringeren Betriebskomplexität, [...]. Sie sind weniger verschleißanfällig und gewährleisten so eine gleichbleibende Leistung über die gesamte Lebensdauer der Anlage.“, <https://magnetstek.com/the-future-of-wind-energy-why-permanent-magnets-are-key-in-wind-turbine-technology/>.

25 S. 10, <https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?blob=publicationFile&v=2>.

26 <https://energiewinde.orsted.de/energiewirtschaft/windraeder-bestandteile-rohstoff-versorgung-recycling>

27 IEA (2021), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA, Paris, S. 65, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.

Laut IEA benötigen Turbinen auf Basis von **permanenten Synchrongeneratoren (PMSGs)** Neodym und Dysprosium und DD-PMSGs enthielten im Vergleich zu GB-PMSGs in der Regel größere Mengen an Seltenen Erden, wodurch sie insgesamt kleiner und leichter seien und einen höheren Wirkungsgrad aufweisen würden. Der **Onshore-Windmarkt** werde derzeit von GB-DFIGs dominiert, die mehr als 70 % des Weltmarktes ausmachen. DD-PMSGs hätten ihren Marktanteil in den letzten 10 Jahren von rund 10 % im Jahr 2010 auf 20 % im Jahr 2020 verdoppelt. Im **Offshore-Sektor** seien DD-PMSG-Turbinen mit einem weltweiten Marktanteil von rund 60 % die erste Wahl. Da Offshore-Windparks höhere und größere Turbinen erforderten, würden sie sich in der Regel für DD-PMSG-Konfigurationen entscheiden, da diese leichter und effizienter seien und geringere Wartungskosten verursachten. Mit zunehmender Leistung pro Turm, da die Turbinen höher und größer würden, würden leichtere und effizientere Konfigurationen von PMSG-Technologien zunehmend bevorzugt.²⁸

3.2. Preisentwicklung

Die Preisentwicklung ausgewählter Seltener Erden von **2006 bis 2022** in US-Dollar pro Kilogramm veranschaulicht Abbildung 7. Eine Erklärung für die sehr volatile Preisentwicklung ist ebenfalls enthalten:

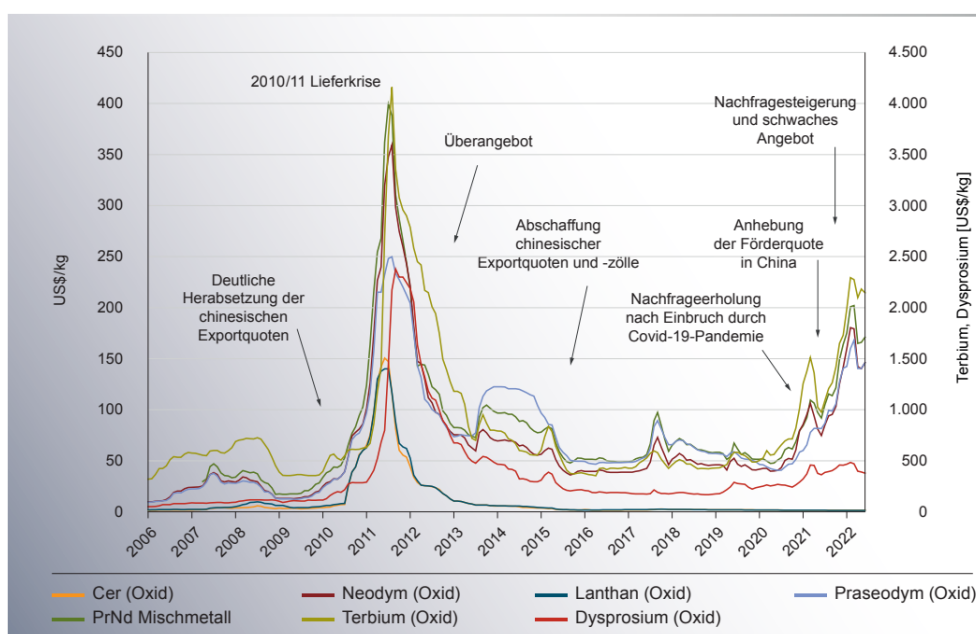


Abbildung 7: Preisentwicklung von Cer, Neodym, Lanthan, Praseodym, PrNd Mischmetall²⁹, Terbium und Dysprosium von 2006 bis 2022.³⁰

28 Übersetzt mit KI-Unterstützung, S. 66, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.

29 Legierung aus Praseodym (Pr) und Neodym (Nd).

30 Rohstoff Seltene Erden, S. 6, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/m-seltene-erden.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Die folgende Abbildung 8 gibt Auskunft über die Preisentwicklung für Neodym, Praseodym, Dysprosium, Terbium und Samarium **bis Juni 2024** in US-Dollar pro Kilogramm:

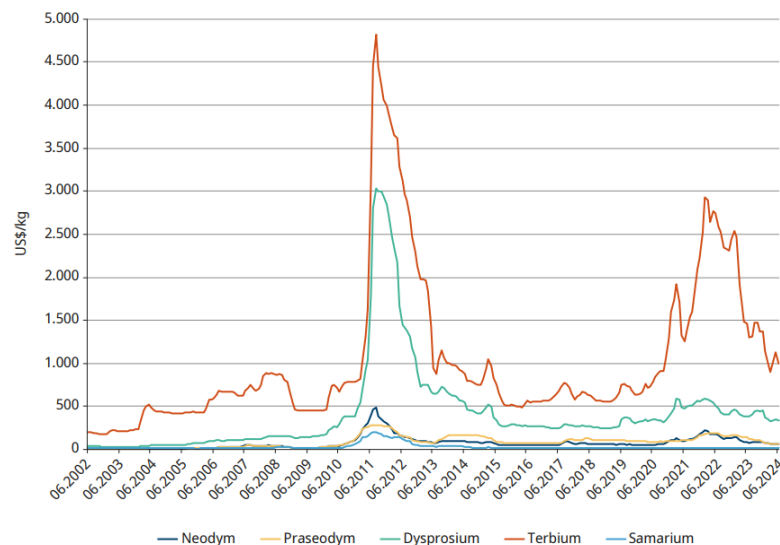


Abbildung 8: Preisentwicklung der für die Magnetproduktion wichtigen Seltenen Erden.³¹

Aktuelle Preise der vier Seltenen Erden finden sich unter den folgenden Links:

- <https://strategicmetalsinvest.com/dysprosium-prices/>.
- <https://strategicmetalsinvest.com/neodymium-prices/>.
- <https://strategicmetalsinvest.com/praseodymium-prices/>.
- <https://strategicmetalsinvest.com/terbium-prices/>.

Insbesondere für die Offshore-Windenergie ist eine zuverlässige und preisgünstige Versorgung mit Seltenen Erden von entscheidender Bedeutung. Im Mittelpunkt der Debatte um mögliche Engpässe bei Seltenen Erden und den Ausbau der Windenergie steht der Einsatz von NdFeB-Magneten in Direktantriebssystemen.³²

Im Jahr 2016 erläuterte das VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE), dass aufgrund der Kosten von Seltenerdmetallen zwei Lösungsansätze verfolgt würden: die Reduzierung der benötigten absoluten Mengen dieser Metalle und eine Substitution durch andere Materialien wie

31 Elsner, Harald, Erdmann, Martin, Liedtke; Maren (2025). Seltene Erden: Projekte, Förderung, Weiterverarbeitung. Datenstand: Januar 2025. Berlin, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), S. 105, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Projekte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-61.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

32 Carrara, Samuel et al. (2020), Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, S. 7, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/19aee047-7f88-11ea-aea8-01aa75ed71a1/language-en>.

hartmagnetische Ferrite auf Eisenbasis. Hartmagnetische Ferrite erreichten inzwischen eine ähnliche magnetische Leistungsfähigkeit wie Neodym-Eisen-Bor-(NdFeB-)Legierungen.³³

Forschungsanstrengungen konzentrieren sich laut Ghorbani et al. (2025) derzeit auf die Entwicklung dysprosiumfreier NdFeB-Magnete. SmFeN-Magnete seien eine vielversprechende Option, weil das Angebot an Samarium(III)-oxid (Sm_2O_3) derzeit die Nachfrage übersteige und daher die Preise niedrig seien und sie eine mit NdFeB vergleichbare magnetische Stärke aufweisen würden und zudem oxidations- und korrosionsbeständiger seien.³⁴

Da Seltene Erden vom größten Exporteur (China) auch als geostrategisches Druckmittel genutzt werden, starteten schon vor einigen Jahren geologische Erkundung in der EU. So soll auch durch den Critical Raw Materials Act der EU³⁵ aus dem Jahr 2024 eine sichere und nachhaltige Versorgung mit kritischen Rohstoffen unter anderem durch die Förderung von Effizienz und Recycling gewährleistet werden.

Die Studie der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS im Auftrag der Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) vom Juli 2024 befasst sich mit dem

Recycling von NdFeB-Magneten in Deutschland, <https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?blob=publicationFile&v=2>.

Siehe auch

BMW (2025), Von der europäischen Windindustrie erarbeiteter Resilienz-Fahrplan für Permanentmagnete (Resilience Roadmap for Permanent Magnets), <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Downloads-Publikationsliste/permanent-magnete-der-windindustrie.pdf?blob=publicationFile&v=14>.

Wegen der langen Lebensdauer und späten Markteinführung von NdFeB-Magnete in WEA wird ein Rücklauf von Anlagen allerdings erst ab 2030 erwartet und ein Recycling ermöglichen.³⁶ Laut der Deutschen Rohstoffagentur sei aber noch fraglich, ob die wirtschaftlichen

33 VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE) (2016) on Windenergieanlagen, S. 18, 2. Auflage 2016, (2016), S. 21ff, https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf.

34 Ghorbani, Y. et al. (2025), Rare earth permanent magnets for the green energy transition: Bottlenecks, current developments and cleaner production solutions, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344924005573>.

35 Verordnung (EU) 2024/1252 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>.

36 S. 19, <https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?blob=publicationFile&v=2>.

Rahmenbedingungen dafür attraktiv genug seien.³⁷ Bislang würden beim Rückbau von Windkraftanlagen die enthaltenen Magnete zwar gesammelt, danach würden sie jedoch zum Re-Use und Recycling nach Asien exportiert.³⁸

4. Weitere Quellen

Alves Dias, P.; Bobba, S., Carrara, S., Plazzotta, B. (2020), The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility, An analysis of future supply/demand balances, JCR Science for Policy Report, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2ea6ecb2-40e2-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-en>, dann Download starten.

Carrara, S.; Alves Dias, P.; Pavel, C.; Plazzotta, B. (2020), Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/19aae047-7f88-11ea-aea8-01aa75ed71a1/language-en>.

Depraiter, Lisa; Goutte, Stéphane (2023). The role and challenges of Rare Earths in the Energy Transition, https://shs.hal.science/halshs-04199796/file/REE_in_Energy_Transition_DG.pdf.

Elsner, Harald/Erdmann, Martin et. al. (2025). Seltene Erden: Projekte, Förderung, Weiterverarbeitung. Datenstand: Januar 2025. Berlin, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-61.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Glöser-Chahoud, Simon et al. (2016), Globale Verwendungsstrukturen der Magnetwerkstoffe Neodym und Dysprosium: Eine szenariobasierte Analyse der Auswirkung der Diffusion der Elektromobilität auf den Bedarf an Seltenen Erden, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 05/2016, Fraunhofer ISI.

McKinsey (2025), Fünf Bausteine einer sicheren Versorgung der deutschen Industrie mit kritischen Rohstoffen. Mit vereinten Kräften kann Deutschland seine Resilienz gegenüber Preisschwankungen und Lieferengpässen bei Seltenen Erden und anderen kritischen Rohstoffen erhöhen. https://www.mckinsey.com/de/~/_/media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2025/2025-10-13%20rohstoffe/mckinsey_rohstoffe_oktober%202025_final.pdf.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2023), Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045, Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität – Langfassung, S. 114 bis 119, <https://www.stiftung->

37 S. 19, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

38 S. 17, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffinformationen-60.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

klima.de/app/uploads/2023/11/Stiftung_Klimaneutralitaet_2023-Resiliente-Lieferketten_Langfassung-2.pdf.

UBA (2019), Seltene Erden in Permanentmagneten Factsheet, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet-magnetmaterialien_fi_barrierefrei.pdf.

* * *