

Bedarf an Seltenen Erden für Magnete in Windradgeneratoren und damit verbundene Umweltprobleme

Dr. Bernd Fleischmann, 11. Oktober 2026

Unsere Rechnungen ergeben **für den deutschen Windkraft-Zielbestand im Jahr 2045 von 230 GW einen Bedarf von gerundet 20.000 Tonnen Seltene Erden (Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium)**. Weil Seltene Erden in Mineralien vorkommen, die auch Thorium und in kleineren Mengen Uran enthalten, entstehen beim Abbau und der Verarbeitung große Mengen an radioaktiv belasteten Rückständen, säurehaltigem Abwasser und schadstoffhaltigem Abgasgemisch.

Die berechneten Abfallmengen sind Szenariohochrechnungen mit älteren Produktionskennwerten, keine nachgewiesenen Emissionen der deutschen WKA-Lieferketten.

Auswertung der Anlagenlisten

Entscheidend für den Seltenerdenbedarf ist die Generatorbauart. Permanentmagnetgeneratoren benötigen Nd, Pr, Dy und Tb; elektrisch erregte Synchron- und Asynchrongeneratoren benötigen diese Metalle nicht zur Erregung des Hauptgenerators. Permanentmagnet-Direktantriebe haben dabei einen erheblich höheren spezifischen Materialbedarf als Permanentmagnetgeneratoren mit Getriebe.

Generatorbauart	Inbetriebnahme 2025: Anlagen	Leistung MW	Geplante Anlagen	Leistung MW
Permanentmagnet, Direktantrieb	189	1.231,52	2.344	14.384,66
Permanentmagnet, mit Getriebe	248	1.607,20	2.512	17.617,36
Ohne Permanentmagnete im Hauptgenerator	575	2.980,52	3.795	22.946,08
Nicht eindeutig zuordenbar	0	0	68	403,50
Gesamt	1.012	5.819,24	8.719	55.351,60

Der Permanentmagnetanteil beträgt damit 48,8 % der Leistung des erfassten Zubaus 2025 und **57,8 % der erfassten geplanten Leistung**. Die Planungsliste umfasst verschiedene Inbetriebnahmejahre.

Quellen der Anlagenzahlen und Leistungen: [Marktstammdatenregister](#)

Ausbauziele und Materialbedarf

Die gesetzlichen Ziele ergeben zusammen mindestens 145 GW im Jahr 2030, 197 GW im Jahr 2035 und **230 GW im Jahr 2045**:

Zieljahr	Wind an Land	Wind auf See	Zusammen
2030	115 GW	mindestens 30 GW	mindestens 145 GW
2035	157 GW	mindestens 40 GW	mindestens 197 GW
2045	160 GW	mindestens 70 GW	mindestens 230 GW

Die 160 GW an Land sollen bereits 2040 erreicht und anschließend erhalten werden. Grundlage sind § 4 EEG und § 1 Absatz 2 WindSeeG. [Einzelnorm](#)

Für die Materialrechnung verwendeten wir die zentralen JRC-Kennwerte:

Generatorbauart	Bedarf an Nd + Pr + Dy + Tb
Permanentmagnet, Direktantrieb	239 kg/MW
Permanentmagnet, mit Getriebe	59 kg/MW
Ohne Permanentmagnete	0 kg/MW

Diese Werte beschreiben Bauarten, keine modellgenauen Herstellerbilanzen. [publications-jrc.ec.europa.eu](http://publications.jrc.ec.europa.eu)

Daraus ergeben sich **389 Tonnen** für die erfassten Inbetriebnahmen 2025 und **4.477 Tonnen** für die zugeordneten geplanten Anlagen. Die Hochrechnung lautet:

$$4.477 \text{ t} \times (230 \text{ GW} / 55,35 \text{ GW}) \approx 18.605 \text{ t.}$$

Diese rund 19.000 Tonnen beschreiben zunächst den Metallinhalt des Zielbestands. Bei angenommenen 20 Jahren Lebensdauer müsste der heutige Bestand bis 2045 weitgehend ersetzt werden. Der kumulierte Beschaffungsbedarf hängt aber von den tatsächlichen Betriebsdauern, dem Ersatzzeitpunkt und möglichen weiteren Ersetzungen ab.

Außerdem muss eine genauere Prognose den Ausbau an Land und auf See getrennt behandeln. Eine unveränderte Generatorverteilung bis 2045 ist eine Annahme. Zusätzliche Magnete außerhalb der Hauptgeneratoren sind bisher nicht enthalten.

Umrechnung auf die Abfallarten

Die verwendeten OECD-Kennwerte beziehen sich auf **Seltenerdoxide**, während unsere WKA-Bilanz die **Metalle** zählt. Für die betrachtete Mischung gilt näherungsweise:

$$1 \text{ t Magnet-Seltenerdmetalle} \approx 1,17 \text{ t Oxidäquivalente.}$$

Die OECD nennt 2015, unter Berufung auf eine Quelle von 2009, **je Tonne Seltenerdoxide (Gesamtoxide, nicht elementspezifisch) 1,4 t radioaktive Rückstände, 200 m³ saures Abwasser und 63.000 m³ schadstoffhaltiges Abgasgemisch**. Diese ältere Zahlenreihe verwenden wir hier als Belastungsszenario. www.oecd.org

Bei einer proportionalen, massenbezogenen Zuordnung ergibt sich:

Größe	Je t Magnet-Seltenerdmetalle	Für die Hochrechnung von 18.605 t	Für gerundet 20.000 t
Oxidäquivalente	1,17 t	21.767 t	23.400 t
Radioaktiv belastete Rückstände	1,64 t	30.474 t	32.760 t
Säurehaltiges Abwasser	234 m³	4,35 Mio. m³	4,68 Mio. m³
Schadstoffhaltiges Abgasgemisch	73.710 m³	1,37 Mrd. m³	1,47 Mrd. m³

Dabei sind drei Unterscheidungen wesentlich:

- **Radioaktive Rückstände** sind das gesamte belastete Material, nicht reines Uran oder Thorium. Zur Bewertung fehlen Aktivität, Zusammensetzung und Lagerungsbedingungen.
- **Säurehaltiges Abwasser** ist keine bestimmte Säuremenge. Dafür wären Konzentrationen und Angaben zur Behandlung erforderlich.
- **Abgasvolumen** bedeutet Trägergas mit Schadstoffen wie Fluorwasserstoff, Schwefeldioxid, Säurenebel und Staub. Die erzeugte Menge und die Freisetzung nach Reinigung sind unterschiedliche Größen. nepis.epa.gov

Gemeinsame Produktion mit anderen Seltenerden

Bei der Erzverarbeitung entstehen neben den Magnetmetallen beispielsweise Cer und Lanthan. Die obige Rechnung ergibt nicht den Anteil an Magnetmetallen an der Produktionsbelastung, sondern die Summe der verwertbaren Seltenen Erden.

Soll stattdessen die **gesamte für die Magnetmetalle notwendige Erzverarbeitung** erfasst werden, muss der Anteil der Magnetoxide an der Menge der produzierten Oxide berücksichtigt werden. Bei einem lediglich beispielhaften Anteil von **25 %** wären die Zahlen viermal so hoch:

Gesamter Produktionsaufwand für 20.000 t Magnetmetalle, angenommen 25 % Magnetoxidanteil	Menge
Radioaktiv belastete Rückstände	131.040 t
Säurehaltiges Abwasser	18,72 Mio. m ³
Schadstoffhaltiges Abgasgemisch	5,90 Mrd. m ³

Diese Rechnung umfasst allerdings auch die Herstellung der anderen Seltenerdprodukte. Ihre gesamte Belastung ausschließlich der Windkraft zuzuschreiben wäre eine zusätzliche Zuordnungsentscheidung; 25 % ist bisher keine nachgewiesene Zusammensetzung der betreffenden Lieferketten.

Recycling und Aussagegrenzen

Es gibt inzwischen erste kommerzielle Recyclinganlagen für Seltenerdminerale. Für unsere Bilanz haben wir jedoch **keine Recyclinggutschrift angesetzt**, weil keine belastbare Rücklaufmenge deutscher WKA-Magnete vorliegt. Die Eröffnung einer Anlage und ihre angekündigte Kapazität belegen noch keine entsprechende Jahresproduktion aus stillgelegten Windrädern. hypromag.de

Die belastbare Formulierung für diese Auswertung lautet daher:

Unter gleichbleibender Verteilung der Generatorbauarten enthält der angestrebte Windkraftbestand rund 20.000 Tonnen Magnet-Seltenerden. Mit dokumentierten OECD-Kennwerten ergibt sich dafür ein proportional zugerechnetes Szenario von etwa 31.000–33.000 Tonnen radioaktiv belasteten Rückständen, 4,4–4,7 Millionen m³ säurehaltigem Abwasser und 1,4–1,5 Milliarden m³ schadstoffhaltigem Abgasgemisch. Eine tatsächliche Lieferkettenbilanz erfordert Herkunft und Verfahren, getrennt insbesondere für Nd/Pr und Dy/Tb.