



---

**Fachbereich WD 8**

---

**Recycling von Windenergieanlagen**  
Forschungsaktivitäten

**Recycling von Windenergieanlagen**  
Forschungsaktivitäten

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 024/26  
Abschluss der Arbeit: 28.04.2026  
Fachbereich: WD 8: Gesundheit, Familie, Bildung und Forschung, Umwelt

---

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**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Forschungsaktivitäten</b>	<b>5</b>
2.1.	Verbundmaterialien	5
2.2.	Seltene Erden	8

## 1. Einleitung

Windenergieanlagen (WEA) bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten und unterschiedlichen Materialien. Schätzungen nach liegen die Anteile am Gesamtgewicht für Beton der Fundamente und des Turms bei 60 bis 65 Prozent, für Stahl in Fundamenten und Turm bei 30 bis 35 Prozent, für Verbundmaterialien der Rotorblätter bei 2 bis 3 Prozent sowie für Elektro-Komponenten, Kupfer, Aluminium, PVC und Betriebsflüssigkeiten jeweils unter 1 Prozent.<sup>1</sup> Die Permanentmagneten der Turbine (NdFeB-Magnete) bestehen zu etwa 67 Prozent aus Eisen, 1 Prozent aus Bor sowie 31 bis 32 Prozent aus Seltenerdelementen.<sup>2</sup>

Nach Aussage des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) könnten bis zu 90 Prozent der zurückgebauten Bestandteile einer WEA, bezogen auf die Gesamtmasse, einem geordneten Verwertungsprozess zugeführt werden.<sup>3</sup> Es existieren etablierte Verfahren für Beton, Metalle sowie Flüssigkeiten. Die Betonanteile der Windenergieanlagen werden bereits recycelt. Der Betonaufbruch wird zu Betonsplitt oder Betonschutt zerkleinert und kann für den Wege- oder Fundamentbau sowie als Rohstoff für Recyclingbetone weiterverwendet werden. Nach Aussage des Bundesverbands WindEnergie (BWE) bedarf es keiner speziellen Anforderungen an das Recycling der Windenergieanlagen; daher könne die im Verhältnis zur Baubranche sehr geringe Menge an anfallendem Betonschutt von den seit Jahrzehnten etablierten Prozessen und Recyclingstrukturen ohne Weiteres aufgenommen werden.<sup>4</sup>

Auch Metalle der elektrischen Komponenten fallen beim Rückbau an. Sie sind in elektrischen Leitungen oder Stromschienen, Verkleidungen sowie Blitzschutzanlagenteilen enthalten. Obwohl ihr Anteil am Gesamtgewicht einer Anlage gering ist, sind sie für das Recycling wegen ihrer ho-

- 
- 1 Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2019). „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/BWE-Hintergrundpapier\\_Recycling\\_von\\_Windenergieanlagen\\_-\\_20191115.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/BWE-Hintergrundpapier_Recycling_von_Windenergieanlagen_-_20191115.pdf).
  - 2 Umweltbundesamt (2019). Factsheet „Seltene Erden in Permanentmagneten“, [https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/3521/dokumente/factsheet-magnetmaterialien\\_fi\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/3521/dokumente/factsheet-magnetmaterialien_fi_barrierefrei.pdf). Eine Zusammenstellung der Materialien, die in Windenergieanlagen zum Einsatz kommen, findet sich in: Wissenschaftliche Dienste (2023). „Zu Materialien in Windkraftanlagen“, WD 8- 3000 - 039/23, <https://www.bundestag.de/resource/blob/969874/WD-8-039-23-pdf.pdf>.
  - 3 VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014). „Ressourceneffizienz von Windenergieanlagen“, [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/kurzanalysen/2014-KurzanalyseVDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-KurzanalyseVDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf).
  - 4 Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2023). „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, S. 6, [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801\\_BWE-Informationspapier\\_Rueckbau\\_und\\_Recycling\\_von\\_Windenergieanlagen.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801_BWE-Informationspapier_Rueckbau_und_Recycling_von_Windenergieanlagen.pdf). Mit dem Umgang mit Fundamenten abgeschalteter Windenergieanlagen befasst sich auch eine Arbeit der Wissenschaftliche Dienste, <https://www.bundestag.de/resource/blob/891844/5679a2cea9609bcc2cf864681da6725a/WD-8-014-22-pdf-data.pdf>.

hen Rohstoffwertigkeit von Bedeutung. Die im Zuge des Rückbaus anfallenden Metalle wie Stahl, Kupfer oder Aluminium werden mittels etablierter Verfahren recycelt.<sup>5</sup> Ebenso ist die Entsorgung sowie das Recycling für die Flüssigkeiten wie Öle und Fette etabliert.<sup>6</sup>

Die vorliegende Arbeit liefert eine Auswahl aktueller Forschungsaktivitäten zum Recycling einzelner Komponenten, insbesondere der Verbundmaterialien und der Seltenen Erden von Windenergieanlagen.

## 2. Forschungsaktivitäten

Zusammenstellungen einzelner Forschungsaktivitäten zum Recycling verschiedener Materialien der Windenergieanlagen sowie zur Strategieentwicklung des Recyclingprozesses finden sich unter:

**Bundesverband WindEnergie** (BWE) (2023). „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, Kap. 4 „Aktuelle Studien und laufende Forschungsprojekte“, [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801\\_BWE-Informationspapier\\_Rueckbau\\_und\\_Recycling\\_von\\_Windenergieanlagen.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801_BWE-Informationspapier_Rueckbau_und_Recycling_von_Windenergieanlagen.pdf).

**Recyclewind 3.0**, <http://www.recyclewind.de>. Das Projekt „RecycleWind“ befasst sich mit der Konzeption und Anwendungssimulation eines selbstlernenden Verwertungsnetzwerks zur ressourcenschonenden Lenkung der Stoffströme für hochwertige und insbesondere langlebige Produkte am Beispiel von Windenergieanlagen (WEA).

**Seeoff**, <https://www.seeoff.de>. Eine „Strategieentwicklung zum effizienten Rückbau von Offshore-Windparks“ findet im Rahmen des Projekts „Seeoff“ statt.

### 2.1. Verbundmaterialien

**Entsorgung ausgedienter Windindustrieanlagen**, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Mathias Weiser, Dr. Malte Kaufmann, Marc Bernhard, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der AfD vom 6. Januar 2026, BT-Drs. 21/2972, S. 13-22, Anlage 1, „Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Recyclingtechnologie für CFK- und GFK-Materialien aus Windindustrieanlagen“, <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>.

---

5 Weitere Informationen dazu unter: Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2023). Informationspapier „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, S. 6f, [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801\\_BWE-Informationspapier\\_Rueckbau\\_und\\_Recycling\\_von\\_Windenergieanlagen.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801_BWE-Informationspapier_Rueckbau_und_Recycling_von_Windenergieanlagen.pdf). Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2019). Hintergrundpapier „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/BWE-Hintergrundpapier\\_Recycling\\_von\\_Windenergieanlagen\\_-\\_20191115.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/BWE-Hintergrundpapier_Recycling_von_Windenergieanlagen_-_20191115.pdf).

6 Nähere Informationen unter: Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2023). Informationspapier „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, S. 8, [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801\\_BWE-Informationspapier\\_Rueckbau\\_und\\_Recycling\\_von\\_Windenergieanlagen.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20230801_BWE-Informationspapier_Rueckbau_und_Recycling_von_Windenergieanlagen.pdf).

Ausgediente Rotorblätter von Windenergieanlagen bringen eine Reihe von Herausforderungen für das Recycling mit sich – insbesondere für die darin verwendeten Verbundwerkstoffe wie Materialien aus Glas- und Kohlefasern. In ihrer Antwort auf die Kleine Anfrage hat die Bundesregierung Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Recyclingtechnologie für CFK- und GFK-Materialien aus Windindustrieanlagen zusammengestellt.

**Cefic**, Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2020). „Accelerating Wind Turbine Blade Circularity“, <https://cefic.org//app/uploads/2024/05/Accelarating-wind-turbine-blade-waste-recycling.pdf>. Der europäische Verband WindEurope gibt hier einen Überblick zu aktuellen Recyclingstandards, der geschätzten Anzahl demontierter Rotorblätter, zu laufenden Forschungsprojekten und aktuellen gesetzlichen Regelungen sowie Vorgaben in den EU-Mitgliedstaaten.

**Mishnaevsky Jr. Leon** (2024). „Recycling of wind turbine blades: Recent developments“, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223622001584>. In diesem Übersichtsartikel erläutert das Forscherteam die derzeit verfügbaren Technologien zum Recycling von Rotorblättern und gibt einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen und Studien in diesem Bereich. Die Autoren erklären auch die Forschungsaktivitäten zu neuen Materialien für Rotorblätter, die eine bessere Recycelfähigkeit versprechen.

**Umweltbundesamt** (UBA) (2022). „Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter“, [https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/texte\\_92-2022\\_entwicklung\\_von\\_rueckbau\\_und\\_recyclingstandards\\_fuer\\_rotorblaetter\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/texte_92-2022_entwicklung_von_rueckbau_und_recyclingstandards_fuer_rotorblaetter_0.pdf). Das UBA erläutert in diesem umfangreichen Abschlussbericht die Entwicklung von Standards für eine möglichst hochwertige und wirtschaftlich zumutbare Aufbereitung von Rotorblattabfällen.

**U.S. Department of Energy** (2026). „Wind Turbine Recycling“, 7. April 2026, <https://www.energy.gov/eere/wind/wind-turbine-recycling>. Das US-amerikanische Department of Energy's (DOE), Wind Energy Technologies Office (WETO), arbeitet mit Forschern aus Industrie, Wissenschaft und nationalen Forschungslabors zusammen, um Konzepte für die Wiederverwendung und das Recycling im Bereich der Windenergie zu entwickeln. Forscher der University of Tennessee und von Carbon Rivers entwickelten beispielsweise ein neuartiges Pyrolyseverfahren. Dabei soll eine thermische Zersetzung die Rückgewinnung von Glasfasern aus ausgedienten Windturbinenflügeln ermöglichen. Die zurückgewonnenen Glasfasern sollen für den Bau neuer Flügel sowie zur Herstellung von Verbundwerkstoffen für die Automobil-, Konsumgüter-, Schifffahrts- und Luft- und Raumfahrtindustrie verwendet werden.

Das **Vorhaben „KoReNaRo“** hat die Entwicklung eines umfassenden Konzepts für *Recycling* und *Nachnutzung* von Rotorblättern aus Kunststoffverbundmaterialien zum Ziel, <https://www.iekrw.de/projekte/>.

Im Projekt **„RecyclableBlades“** werden recycelbare Rotorblätter entwickelt, die ab 2040 eingesetzt werden sollen: Energiewinde, <https://energiewinde.orsted.de/energiewirtschaft/recycling-windraeder-rotorblaetter-gfk> und Industr., publish-industry Verlag München (2021). „Siemens führt erstes recycelbares Rotorblatt für Windkraftanlagen ein“, vom 08.09.2021, <https://www.industr.com/de/siemens-fuehrt-erstes-recycelbares-rotorblatt-fuer-windkraftanlagen-ein-2622464>.

**Clarke, R.W.** u. a. (2024). „Manufacture and testing of biomass-derivable thermosets for wind blade recycling“, <https://doi.org/10.1126/science.adp5395> und **National Laboratory of the Rockies** (2024). „News Release: NREL Advances Method for Recyclable Wind Turbine Blades - Resin Made From Biomass Enables Chemical Recycling at End of Useful Lifespan“, <https://www.nrl.gov/news/detail/press/2024/nrel-advances-method-for-recyclable-wind-turbine-blades>. Im Rahmen eines Projekts evaluieren die Experten die Herstellung und den Einsatz von aus Biomasse gewonnenen Duroplasten für das Recycling von Rotorblättern von Windenergieanlagen.

**WindEurope** (2025). „No blade left behind: the wind sector’s commitment to sustainable blade solutions“, vom 3. Juli 2025, <https://windeurope.org/news/no-blade-left-behind-the-wind-sectors-commitment-to-sustainable-blade-solutions/>. In Europa werden nach Informationen des Verbands WindEurope ausgediente Rotorblätter in neue Konstruktionen umgewandelt, so etwa in Irland für Fußgängerbrücken, in den Niederlanden für Spielplätze und Bänke, in Schweden für ein Parkhaus und in Spanien für hybride Solar-Wind-Parks sowie Surfbretter.

**Jasinska, D., Dutkiewicz, M.** (2025). „Review - Waste Management of Wind Turbine Blades - A Review of Recycling Methods and Applications in Cementitious Composites“, Sustainability 2025, 17, 805, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/3/805>. Der Artikel basiert auf einer Literaturrecherche von über 59 Artikeln, von denen mehr als die Hälfte in den letzten fünf Jahren veröffentlicht wurden. Er bietet unter anderem Beispiele für die Wiederverwendung von Rotorblatt-Komponenten als vollständiges Bauteil, in einzelnen Teilen oder der Materialien nach der Aufbereitung. Die Autoren halten es für notwendig, Lösungen für die Verwertung von Rotorblättern zu erforschen, um Abfall zu minimieren und zudem den Verbrauch der Ressourcen durch das Recycling von Abfallmaterial zu reduzieren. Sie schlagen vor, mechanisch zerkleinerte Bestandteile von Rotorblättern als Zusatzstoff in Zementmischungen zu verwenden.

**Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES)**, Horizon Europe, 01/2023 bis 12/2026, <https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/eolo-hubs.html>. Das Fraunhofer IWES arbeitet insbesondere an der Entwicklung von Recyclingverfahren und Zerlegungsstrategien: „Wind turbine blades End of Life through Open HUBs for circular materials in sustainable business models“. Die Projektpartner wollen innovative Methoden und Geschäftsmodelle zum Recycling von Rotorblättern entwickeln. Dabei werden die Bereiche Rückbau und Vorbehandlung der Blätter, einschließlich Handhabung, NDT-Prüfung, Zerlegen, Schreddern und Sortieren, die nachhaltige Faserrückgewinnung sowie die Aufwertung von Verfahren zur Veredelung der zurückgewonnenen Fasern untersucht. Weitere Informationen finden sich unter: EoLO – HUBs, <https://www.eolo-hubs.eu/>.

Das **Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik** das Fraunhofer IGCV forscht an unterschiedlichen Ansätzen zum Recycling von Faserverbundwerkstoffen, insbesondere Carbonfaserkunststoffen: (IGCV) (2025). „Recycling-Potential von Windenergieanlagen“, vom 18. März 2025, [https://www.igcv.fraunhofer.de/de/presse\\_downloads/pressemitteilungen/recycling-potential-von-windenergieanlagen-.html](https://www.igcv.fraunhofer.de/de/presse_downloads/pressemitteilungen/recycling-potential-von-windenergieanlagen-.html). Weitere Informationen zum Recycling von Composites unter: <https://www.igcv.fraunhofer.de/de/forschung/kompetenzen/recycling-von-composites.html>.

## 2.2. Seltene Erden

**Deutsche Bundesstiftung Umwelt** (2024). „WindLoop - Effiziente Rückführung von Selten-Erde- und Nicht-Eisen-Metallen aus Windenergieanlagen in den Stoffkreislauf“, S. 2, [https://opac.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-37114\\_01-Hauptbericht.pdf](https://opac.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-37114_01-Hauptbericht.pdf). Die Recyclingquote von den in Magnetlegierungen enthaltenen SE-Metallen wie Neodym, Dysprosium und Praseodym beträgt weniger als 1 Prozent und ist damit sehr gering. Die Autoren dieser Studie meinen, dies liege u. a. an den wenigen belastbaren Informationen zur Altersstruktur, an den Baugrößen bzw. der stofflichen Zusammensetzung insbesondere der Windenergieanlagen-Generatoren innerhalb des deutschen Windenergieanlagen-Bestandes. Im Rahmen dieses Projektes konnte eine Reihe von Teilergebnissen zur Optimierung der SE-Stoffkreisläufe bei Windenergieanlagen erzielt werden.

**Deutsche Rohstoffagentur** (2025). Auftragsstudie „Recycling von NdFeB-Magneten in Deutschland“, 60 DERA Rohstoffinformationen, Kap. 5.2, S. 38f, [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/SharedDocs/Downloads/Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-60.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/SharedDocs/Downloads/Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-60.pdf?__blob=publicationFile&v=2). Aufgrund der steigenden Menge an potenziell zu recycelnden NdFeB-Magneten befassen sich in Europa verschiedene Forschungsprojekte mit dem Recycling seltener Erden (SE). In Deutschland arbeiten unterschiedliche universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen an Recyclingverfahren für Magnetwerkstoffen. Die Deutsche Rohstoffagentur hat hier ausgewählte Forschungsaktivitäten über Arbeiten zur Demontage von Komponenten sowie zum werkstofflichen und rohstofflichen Recycling von Magneten zusammengetragen.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie** (2026). „Seltene Erden aus verbrauchten Magneten“, <https://www.igf-foerderung.de/gefoerderte-projekte/projekte-im-fokus/seltene-erden-aus-verbrauchten-magneten>. Den Prozess des Lösens Seltener Erden aus den Metallteilen von Permanentmagneten nennt man Auslaugung. Im Rahmen eines Projekts der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) haben Wissenschaftler der RWTH Aachen ein kombiniertes hydro- (elektrochemisches Abscheiden) und pyrometallurgisches (Aufschmelzen) Verfahren entwickelt, das auf einer ultraschallunterstützten selektiven Auslaugung beruht. Diese Technologie kann nach Aussage des Bundeswirtschaftsministeriums „für das Recycling von verbrauchten Magneten und anderen Sekundärrohstoffen unter anderem von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) genutzt werden.“

**Castro, L. u a.** (2024). Editorial „Biobleaching and Biorecovery of critical raw materials from secondary sources“, *Front. Microbiol.* Vol. 15 - 2024, 10. April 2024, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1395820>. Eine Forschungskoooperation zwischen der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU Tulln) und der IMC Krems University of Applied Sciences untersucht die Weiterentwicklung von Biolaugung und Bioakkumulation für die Entwicklung eines nachhaltigen Verfahrens zur Rückgewinnung Seltener Erden.

\*\*\*