



Fachbereich WD 8

Recycling von Windenergieanlagen
Rotorblätter

Recycling von Windenergieanlagen

Rotorblätter

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 022/26
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

1.	Recyclingfähigkeit der einzelnen Komponenten	4
2.	Anzahl der deinstallierten Windenergieanlagen	6
3.	Umfang der Abfallmengen	7
4.	Technische Verfahren zum Recyceln der Rotorblätter	9

1. Recyclingfähigkeit der einzelnen Komponenten

Ab Januar 2021 haben 5.333 Windenergieanlagen (WEA) ihre garantierte Einspeisevergütung nach dem Erneuerbaren Energien-Gesetz (EEG) verloren. Nach 2021 kommen jährlich 1.000 bis 2.000 Anlagen hinzu. Wie lange diese Anlagen noch im Betrieb bleiben, ersetzt oder zurückgebaut und entsorgt werden, steht noch nicht fest. Es könnten nach Aussage des Umweltbundesamtes (UBA) Engpässe bei den Recyclingprozessen auftreten.¹ Aufgrund dessen gewinnt der Einsatz recycelbarer Materialien beim Neubau von Windenergieanlagen zunehmend an Bedeutung und wird zu einem Aspekt des Produktdesigns. Der Fokus liegt dabei auf der Steigerung der Recyclingquote, insbesondere bei den bisher schwierig zu recycelnden Rotorblättern.²

Vom Gewicht einer Windenergieanlage ausgehend, wird der Anteil der eingesetzten und wiederverwendbaren Materialien auf ungefähr 80 bis 90 Prozent geschätzt.³ Nach Angaben des Bundesverbands WindEnergie „werden im Allgemeinen fast 90 Prozent der zurückgebauten Bestandteile einer WEA, bezogen auf die Gesamtmasse, einem geordneten Verwertungsprozess zugeführt.“⁴

Das Umweltbundesamt schreibt in seinem Abschlussbericht aus dem Jahr 2023 zur „Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen zur Sicherung einer guten Praxis bei Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“ zur materiellen und verfahrensbedingten Recyclingfähigkeit von Windenergieanlagen:

„Für die Rückgewinnung von Metallen bestehen grundsätzlich ausreichend wirtschaftliche Anreize. Recyclingprozesse besitzen dabei einen Effizienzgrad von bis zu 90 Prozent. Gutes Beispiel hierfür ist der niedriglegierte Stahl, der nicht nur recyclingfähig ist, sondern aufgrund vergleichbar geringer Anforderungen an die Werkstoffeigenschaft auch leicht zu substituieren ist. Die Substitution kann durch alternative Werkstoffe erfolgen, wie z.B. Beton, aber auch durch gleichzusammengesetzte Rezyklate. Ebenso besitzt der in Turm und Fundament eingesetzte Beton hohe Recyclingfähigkeit. Wenn Turm und Fundament also fachgerecht rückgebaut werden, kann für WEA eine Recyclingquote von 81 Prozent er-

-
- 1 Umweltbundesamt (UBA) (2019). „Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensicheren Rückbau von Windenergieanlagen“, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019_10_09_texte_117-2019_uba_weacycle_mit_summary_and_abstract_170719_final_v4_pdfua_0.pdf. Dieser uns alle weiteren Links zuletzt abgerufen am 1. April 2026. Beim Rückbau und Recycling unterscheiden die Experten auch zwischen Zweitnutzung, stofflicher und thermischer Verwertung und der Deponierung.
 - 2 Anteil der Baustoffe am Gesamtgewicht einer WEA (in Prozent) s. Abb. 1, S. 4 unter: 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.
 - 3 VDI (2014). „Ressourceneffizienz von Windenergieanlagen“, https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf.
 - 4 Bundesverband WindEnergie (BWE) (2023). „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, Seite 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.

reicht werden. Mit einem Materialverlust von 5 bis 10 Prozent sind etwa 75 Prozent der zur Herstellung eingesetzten Materialmasse als Rezyklate wiederzugewinnen und für den Einsatz in WEA geeignet.“

Die Recyclingfähigkeit von Seltenen Erden, hochlegierten Stählen sowie einigen Technologiemetallen sei geringer, so das UBA weiter. Im Zuge des geringen Recycling- und Substitutionspotenzials von hochlegierten Stählen sei jedoch auch eine geringumfängliche Verwertung sowie eine mangelnde Wiedereinführung des Rezyklats kritisch, da die Produktion von Stahl teuer und energieintensiv ist. Abfälle von Faserverbundwerkstoffen, beispielsweise Rotorblättern aber auch Gehäusen von Rotor und Maschinenhaus, müssten derzeit noch als gering eingestuft werden. Es bestehe hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, wobei erste Studien durchaus schon Wege geschlossener Materialkreisläufe aufzeigten.

Die Recyclingfähigkeit werde allerdings nicht nur durch das Material als solches bestimmt, sondern auch durch die Verfügbarkeit von Recyclingverfahren. Gebe es beispielsweise kein Recyclingwerk für Rotorblattabfälle, so seien Rotorblattabfälle nicht recyclingfähig. Der Grad der Recyclingfähigkeit könnte durch die Errichtung von Recyclingwerken sprunghaft erhöht werden. Die verfahrensbedingte Recyclingfähigkeit sei hoch, wenn es nicht nur Verfahren gebe, sondern auch das Ende der Abfalleigenschaft definiert und ein Markt für Sekundärrohstoffe geschaffen worden sei.⁵

Hintergrundinformationen zum Recycling von Windenergieanlagen liefern die folgenden Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste:

Wissenschaftliche Dienste (2020). „Windenergieanlagen - Rückbau, Recycling und Ökobilanzierung“, <https://www.bundestag.de/resource/blob/706672/83a3afbad-fcc0134c053a14f1be859ab/WD-8-028-20-pdf-data.pdf>. Die Arbeit befasst sich mit Aspekten des Rückbaus und Recyclings sowie den Ökobilanzierungen von Windenergieanlagen und deren einzelner baulicher Komponenten.

Wissenschaftliche Dienste (2023). Eine kurze Zusammenstellung der Materialien, die in Windkraftanlagen zum Einsatz kommen, findet sich unter: „Zu Materialien in Windkraftanlagen“, <https://www.bundestag.de/resource/blob/969874/WD-8-039-23-pdf.pdf>.

5 Umweltbundesamt (UBA) (2023). Abschlussbericht „Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen zur Sicherung einer guten Praxis bei Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, Seite 111f, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/texte_48-2023_entwicklung_eines_konzepts_und_massnahmen_zur_sicherung_einer_guten_praxis_bei_rueckbau_und_recycling_von_windenergieanlagen.pdf.

Wissenschaftliche Dienste (2023). „Beanspruchung und Recycling von Windkraftanlagen sowie damit verbundene Herausforderungen“, <https://www.bundestag.de/resource/blob/971028/29bb3715fa9761cc30e124883618a811/WD-8-040-23-pdf-data.pdf>. Die Arbeit befasst sich mit dem Recycling ausrangierter Anlagen und Anlagenteilen sowie mit der Bedeutung des Verschleißes für die Lebensdauer. Zudem werden toxikologische und ökotoxikologische Risiken im Zusammenhang mit dem Rückbau und dem Recycling erörtert.

Wissenschaftliche Dienste (2023). „Ressourcenbedarf für den Ausbau der Windenergie an Land“, <https://www.bundestag.de/resource/blob/968860/8b7ca0fc7f267dd898de304b643c4f5d/WD-5-070-23-pdf-data.pdf>. Diese Arbeit bietet einen Überblick über den derzeitigen Bestand und die Ausbauziele von Windenergieanlagen in Deutschland, die Parameter bei der Abschätzung von Windflächen und der Anzahl von Windenergieanlagen sowie den Bedarf an Rohstoffen für den Bau von WEA an Land. Zudem wird die begrenzte Aussagekraft des Ressourcenbedarfs für die Ausbauziele erläutert.

2. Anzahl der deinstallierten Windenergieanlagen

Zum Stichtag 1. Januar 2025 waren in Deutschland 30.243 Windenergieanlagen installiert. Die gesamte Bruttoleistung sowie die Gesamtanzahl erneuerbarer Stromerzeugungseinheiten (Generatoren) in Betrieb für den Zeitraum 2016 bis März 2026 liefert eine tabellarische Aufstellung der Bundesnetzagentur.⁶ Die Deutsche WindGuard GmbH liefert regelmäßig den Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland. Darin macht sie Angaben zur jährlichen Entwicklung der Windenergieleistung für den Zeitraum 1995 bis 2025 sowie zur Entwicklung der jährlich und anteilig im Rahmen von Repowering-Projekten⁷ installierten und stillgelegten Leistung für den Zeitraum 2000 bis 2025 in Gigawatt (GW).⁸

Die Bundesregierung teilte auf eine Kleine Anfrage hin mit, dass nach Informationen aus dem Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur in den Jahren 2020 bis Ende November 2025 folgende Rückbauten bei Windenergieanlagen an Land registriert wurden: 2020 213, 2021 293, 2022 316, 2023 487, 2024 627, 2025 415 Stück.⁹

6 Bundesnetzagentur (BNetzA), Marktstammdatenregister (2026). „Statistik zur Stromerzeugungsleistung ausgewählter erneuerbarer Energieträger - März 2026“, vom 13.04.2026, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EE-Statistik/DL/EEStatistik-MaStR.pdf?blob=publicationFile&v=50>.

7 Im Kontext des Ausbaus der Windenergie wird unter Repowering der Ersatz älterer, leistungsschwächerer Windenergieanlagen (WEA) durch leistungsstärkere und effizientere Neuanlagen verstanden. Quelle: Bundesamt für Naturschutz, <https://www.bfn.de/repowering>.

8 Deutsche Windguard (2026). „Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland Jahr 2025“, Seite 3f, https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2026/Status%20des%20Windenergieausbaus%20an%20Land_Jahr%202025.pdf.

9 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, <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>.

Europaweit betrug die gesamte Windenergiekapazität für das Jahr 2025 304 Gigawatt. Davon wurden 10,2 GW stillgelegt und 15,0 GW repowered. Das Durchschnittsalter der Anlagen beträgt 4,6 Jahre.¹⁰

Ende 2025 waren weltweit 1,136 GW Leistung durch Windenergie (on & offshore) installiert.¹¹ Eine Aufstellung der weltweiten Leistungen der Windenergie für den Zeitraum 1985 bis 2025 findet sich in unterschiedlichen Darstellungen unter der Online - Publikation „Our World in Data“, (OWID).¹²

3. Umfang der Abfallmengen

Der Anteil der einzelnen Komponenten einer Windenergieanlage am Gesamtgewicht liegt für Beton bei 60 bis 65 Prozent, für Stahl bei 30 bis 35 Prozent, für Verbundmaterialien bei zwei bis drei Prozent und für E-Komponenten, Kupfer, Aluminium, PVC und Betriebsflüssigkeiten jeweils bei unter einem Prozent.¹³ Nach Aussage des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) sollen bis zu 90 Prozent der zurückgebauten Bestandteile einer WEA, bezogen auf die Gesamtmasse, einem geordneten Verwertungsprozess zugeführt werden.¹⁴ Der europäische Verband „Wind Europe“ schätzt, dass allein bis 2023 in Europa 14.000 Windenergieanlagenflügel (Rotorblätter) außer Betrieb genommen werden.¹⁵

Hinsichtlich der zu erwartenden Abfallmengen an GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff) und CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff) durch Rotorblätter aus dem Rückbau von Windenergieanlagen schreibt die Bundesregierung:

„Die Studie ‚Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter‘ im Auftrag des Umweltbundesamtes¹⁶ zeigt, dass bis zum Jahr 2040 kumulativ zwischen 326.000 und 430.000 Tonnen GFK-Abfälle aus reinen GFK-haltigen Rotorblättern in Deutschland anfallen werden. Im gleichen Zeitraum ergeben die durchgeführten Analysen zu

10 Wind Europe, <https://windeurope.org/data/interactive-data-and-maps/>.

11 BWE, <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/international/>.

12 Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P., (2020/2024). „Renewable Energy - Renewable energy sources are growing quickly and will play a vital role in tackling climate change“, <https://ourworldindata.org/renewable-energy>.

13 Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2019). „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technikund-netze/09-rueckbau/BWE-Hintergrundpapier_Recycling_von_Windenergieanlagen_-_20191115.pdf.

14 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.

15 Wind Europe, <https://windeurope.org/news/cross-sector-industry-platform-outlines-best-strategies-for-the-recycling-of-wind-turbine-blades/>.

16 UBA-Texte 92/2022 „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.

erwartende Abfallmengen für faserverstärkte Kunststoffe aus Rotorblättern mit GFK und CFK-Anteilen von 77.000 bis 212.000 Tonnen. Die jährlichen geschätzten Abfallmengen liegen zwischen 3.000 und 75.000 Tonnen für GFK bzw. zwischen weniger als 1.000 und 3.000 Tonnen für CFK. Der zeitliche Verlauf der Abfallmengen zeigt einen Anstieg in beiden Materialklassen Anfang der 2030er-Jahre. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen¹⁷ zeigt sich, dass die Abfallmengen geringer ausfallen werden als ursprünglich angenommen. Diese Studie nimmt auch Abschätzungen zur Entwicklung der Abfallmengen für weitere Materialien vor.“¹⁸

Die Abfallmengen sollen durch Wiederverwendung reduziert werden. Nach Aussage des Bundesverbands WindEnergie „wird es in der zweiten und dritten Betriebsdekade der WEA häufig schwieriger, Originalersatzteile zu bekommen (z.B. Rotorblätter). Da jedoch im Zuge von Repowering-Maßnahmen häufig noch gut erhaltene Gebrauchtteile vorhanden sind, können diese bei WEA ab der zweiten Betriebsdekade nach Prüfung und ggf. Überarbeitung weiterverwendet werden. In diesem Second-Hand-Markt werden ca. 10 Prozent der Komponenten der abgebauten WEA einer Zweitnutzung zugeführt.“¹⁹

Nach Aussage der Bundesregierung könnten zu den Abfallmengen von Offshore-Windenergieanlagen Schätzungen nur unter erheblichem Aufwand durchgeführt werden können und die Ergebnisse ermöglichen nur eine grobe Einschätzung. Für die Jahre 2026 bis 2030 sei ein Offshore-Rückbauvorhaben im Genehmigungsverfahren. Hierbei handele es sich um den Windpark „alpha ventus“ mit zwölf Windenergieanlagen, sechs Anlagen vom Typ Senvion 5M REpower und sechs Anlagen vom Typ Adwen AD 5-116.²⁰

Weitere Informationen finden sich unter:

VDI (2014). „Ressourceneffizienz von Windenergieanlagen“, https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf.

-
- 17 UBA-Texte 117/2019 „Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen“, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/1410/publikationen/2019_10_09_texte_117-2019_uba_weacycle_mit_summary_and_abstract_170719_final_v4_pdfua_0.pdf.
 - 18 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. 5, <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>; siehe auch https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/texte_92-2022_entwicklung_von_rueckbau-und_recyclingstandards_fuer_rotorblaetter_0.pdf.
 - 19 Bundesverband WindEnergie (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.
 - 20 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. 4, <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>.

Wissenschaftliche Dienste (2023). „Ressourcenbedarf für den Ausbau der Windenergie an Land“, Seite 6f, 9, sowie Kap. 4.1, <https://www.bundestag.de/resource/blob/968860/8b7ca0fc7f267dd898de304b643c4f5d/WD-5-070-23-pdf-data.pdf>.

4. Technische Verfahren zum Recyclen der Rotorblätter

Ein Beispiel für das Recyclen von Rotorblättern ist Wiederaufbereitung von Abfällen der Verbundmaterialien der Firma Neocomp: Dabei werden „die Verbundstoffe von Rotorblättern zu einer Art Ersatzbrennstoff weiterverarbeitet, welches durch das Zerspanen des Materials geschieht, sowie die Beimischung von Spukstoffen und Resten von der Papierherstellung. Das daraus resultierende Produkt kann als Energielieferant dienen. Doch eine weitere interessante Eigenschaft bringt das Endprodukt mit sich: es lässt sich als Substitutionsgut für Rohmaterialien einsetzen, beispielsweise für die Herstellung von Steinen in der Zementproduktion.“²¹

Folgende Quellen befassen sich mit dem Recycling von Windenergieanlagen, insbesondere von Rotorblättern, und liefern relevante Informationen zu den technischen Verfahren:

Bundesverband Windenergie (2023). „Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen“, Kap. 3.9, 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.

Umweltbundesamt (2022). „Abschlussbericht Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter“ Kurztitel: Aufbereitung von Rotorblättern, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/texte_92-2022_entwicklung_von_rueckbau-und_recyclingstandards_fuer_rotorblaetter_0.pdf. Ausgehend von den zu erwartenden Abfallmengen und -arten und des speziellen Aufbaus und der Zusammensetzung der verschiedenen Rotorblätter erstellten Experten im Auftrag des Umweltbundesamtes ein Konzept für Wartungen, Reparatur, Demontage, Vorzerkleinerung und Aufbereitung von Rotorblättern.

Wissenschaftliche Dienste (2022). „Beanspruchung und Recycling von Windkraftanlagen sowie damit verbundene Herausforderungen“, Kap. 3.1, <https://www.bundestag.de/resource/blob/971028/29bb3715fa9761cc30e124883618a811/WD-8-040-23-pdf-data.pdf>.

Wissenschaftliche Dienste (2023). „Ressourcenbedarf für den Ausbau der Windenergie an Land“, Kap. 4, <https://www.bundestag.de/resource/blob/968860/8b7ca0fc7f267dd898de304b643c4f5d/WD-5-070-23-pdf-data.pdf>.

21 Grafenberg (2026). „Wiederverwertung, Weiterbetrieb und Repowering von Windenergieanlagen“, <https://grafenberg-gruppe.de/wiederverwertung-weiterbetrieb-und-repowering-von-windenergieanlagen/>.