

# Vom Flügel zur Diele: Wo das Recycling von Windrädern steht

Alte Windräder sind ein Rohstoffschatz, für den Müll viel zu schade. Beim Recycling klemmt es. Materialmangel, Kosten und fehlende Daten bremsen den Kreislauf.

[Sophia Zimmermann](#) 22.10.2025, 08:03 Uhr

Artikel verschenken

2



(Bild: Bundesverband Windenergie (BWE))

*Von*

Inhaltsverzeichnis

Windkraft gilt als sauber und unverzichtbar für die Energiewende. Doch wie nachhaltig ist sie wirklich, wenn man den gesamten Lebenszyklus betrachtet? Mit dem bevorstehenden Ende der Lebensdauer tausender Anlagen rückt der Aspekt in den Fokus, was mit den Altanlagen passiert.

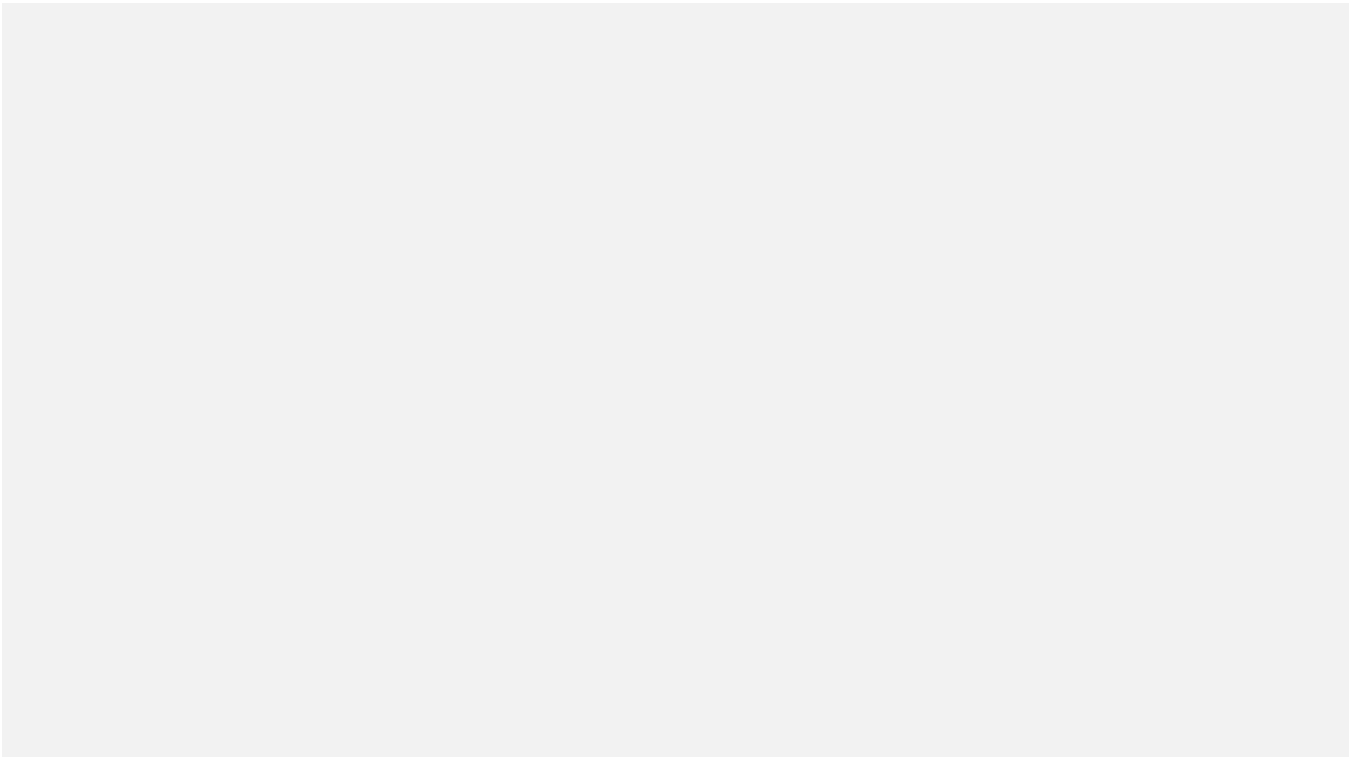
Es ist ein Damoklesschwert, das über der Windkraft schwebt. Ohne geeignete Recyclingkonzepte drohen nicht nur große Mengen an nicht verwertbarem Abfall, sondern auch die Verschwendung wertvoller Ressourcen. Immerhin fallen mit den Alt-Windrädern nicht nur erhebliche Mengen an Stahl, Kupfer und Beton an. Auch wertvolle Seltene Erden und komplexe Verbundmaterialien wie die glas- oder kohlefaserverstärkten Rotorblätter gehören zum Abfallaufkommen.

heise+ kompakt

Die Branche hat das Problem auf dem Schirm und durchaus kreative Ideen – Wohnen in der Windturbine oder Terrassendielen aus Rotorblättern. Sie steht aber auch vor großen Herausforderungen. Der Artikel beleuchtet diese Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze.

## **Windkraft im deutschen Energiesystem**

In Deutschland sind laut Marktstammdatenregister momentan 31.730 Windkraftanlagen in Betrieb (Stand 17.10.2025). [Laut den Energy Charts des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme \(ISE\)](#) beträgt die installierte Leistung aller Windkraftanlagen momentan knapp 76 Gigawatt (Onshore + Offshore).



Die Windkraft gehörte im ersten Halbjahr 2025 zu den wichtigsten Stromlieferanten, noch vor Solarenergie und fossilen Quellen.

(Bild: [Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme \(ISE\)](#))

Im ersten Halbjahr 2025 haben die Windkraftanlagen über 60 Terawattstunden Strom erzeugt, was etwa einem Drittel der deutschen Nettostromerzeugung entspricht. Zum Vergleich: Solaranlagen haben nur etwa 40 Terawattstunden beigetragen – dabei liegt die installierte Leistung mit etwa 100 Gigawatt deutlich höher.

Ausgelegt sind Windkraftanlagen auf eine Lebensdauer von etwa 20 bis 30 Jahren. Wie aus dem Marktstammdatenregister deutlich wird, sind gut 15.000 Windräder des aktuellen Bestands vor Oktober 2010 in Betrieb gegangen, 10.000 sogar vor Oktober 2005. Da schwappt also eine Welle Alt-Windräder auf uns zu.

## **Recyclingquote bei 90 Prozent**

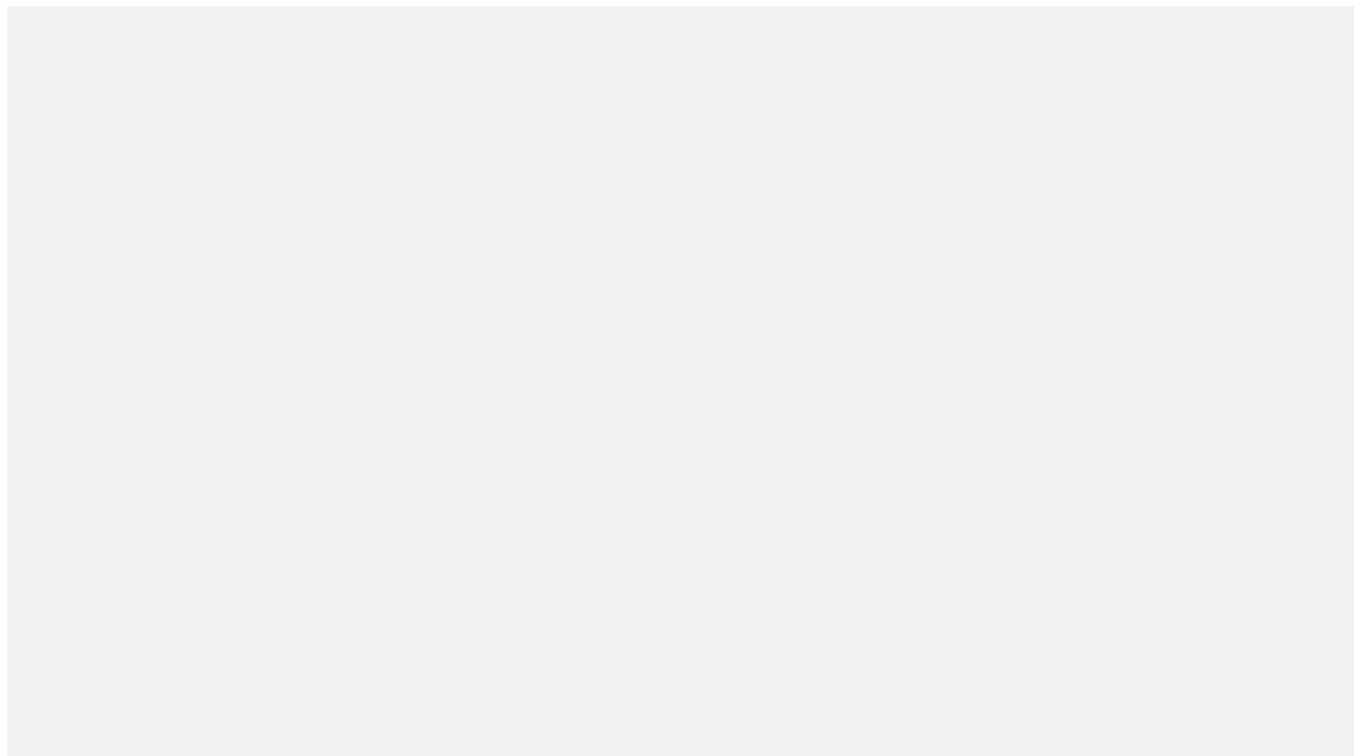
Grundsätzlich können schon heute etwa 90 Prozent eines Windrades verwertet werden – bezogen auf die Gesamtmasse. Denn ein Windrad besteht hauptsächlich aus Beton (60 bis 65 Prozent) und Stahl (30 bis 35 Prozent), wobei der Metallanteil bei Offshore-Anlagen höher ist als bei Onshore-Anlagen. Alle anderen Bestandteile, etwa Kupfer, Aluminium,

aber auch die Verbundmaterialien, aus denen Turbinenhaus und Rotorblätter bestehen, kommen jeweils nur auf niedrige einstellige Werte.

Metalle werden heute mit einer hohen Quote von etwa 95 Prozent recycelt und dem Rohstoffkreislauf zugeführt. Sie werden demontiert, separiert und aufbereitet – etwa zur erneuten Rohmaterialgewinnung oder zur Produktion von Halbzeugen. Letzteres sind industrielle Vorprodukte wie Bleche, Stangen, Rohre, Profile oder Barren.

Beim Stahlbeton der Fundamente findet heute oft ein sogenanntes Downcycling statt. In der Regel wird der Beton vor Ort gebrochen, entweder durch Sprengverfahren oder durch "Knabbern" mit speziellen Hydraulikzangen am Bagger.

Der Schutt geht dann in die Aufarbeitung. Der Bewehrungsstahl wird aussortiert und geht ins Metallrecycling. Die mineralischen Bestandteile werden zu Gesteinskörnungen – also Schotter und Sand – verarbeitet und hauptsächlich als Tragschicht im Straßen- und Wegebau genutzt. Dabei ist auch echter Kreislauf möglich. Längst gibt es etwa Recyclingbeton. [Wie das Umweltbundesamt aber feststellt](#), entwickelt sich der Markt dafür nur eher langsam.



# Second-Life-Markt und illegale Entsorgung erschweren Prognosen

Noch ist das Aufkommen von Altgeräten überschaubar – entgegen ursprünglichen Prognosen. Und das hat mehrere Gründe: gute und schlechte.

Im besten Fall verzögert sich die Rückbauwelle, weil die Anlagen einfach weiterbetrieben werden. Das stellen etwa Experten um Dr. Detlef Spuziak-Salzenberg fest, Leiter des [Projekts "RecycleWind"](#) am Institut für Energie und Kreislaufwirtschaft an der Hochschule Bremen GmbH. [In einem Fachbeitrag nennen sie dafür zwei Gründe.](#) Zum einen machten die hohen Strompreise den Weiterbetrieb alter Anlagen wirtschaftlich attraktiv – trotz ausgelaufener Förderung. Zum anderen gibt es bereits einen Second-Life-Markt.



Der Second-Life-Markt für Windkraftanlagen flaut bereits ab. Grund ist die komplexe Logistik der immer größeren Anlagen.

(Bild: Bernd Zillich/ Shutterstock.com)

[Eine Analyse unter anderem der Leuphana Universität](#) in Lüneburg

kommt zu dem Ergebnis, dass der Weiterverkauf von Altanlagen keine Randerscheinung ist, sondern in der Vergangenheit gängige Praxis war. Für Deutschland gehen die Autoren von Exportquoten von knapp 50 Prozent aus. Ein Großteil der Anlagen, die für das Recycling vorgesehen waren, verließ also den heimischen Stoffkreislauf. Die Fachagentur Wind nennt Osteuropa, Indien, Thailand, Afrika sowie Mittel- und Südamerika als Absatzmärkte für hierzulande ausrangierte Anlagen.

Allerdings stößt der Gebrauchtmärkte an Grenzen. So bremst etwa der häufig nicht vorhandene Netzausbau in den osteuropäischen Ländern die Installation von rückgebauten Anlagen in größerer Anzahl, so die Experten. Selbst, wenn es also eine hohe Nachfrage nach Altanlagen gäbe, dann scheitert die häufig an der fehlenden Infrastruktur. Und auch die Logistik ist eine Herausforderung, denn die Anlagen werden immer größer – und ihr Transport damit wirtschaftlich schwieriger. Bereits jetzt zeichnet sich ein abnehmender Trend im Second-Life-Markt ab.

Im schlechtesten Fall verzögert sich die Wind-Müllwelle, weil die Betreiber ihre Altanlagen schlicht nicht korrekt zurückbauen und entsorgen, sondern sie illegal ins Ausland verbringen.

[Erst Anfang September 2025 sorgte die Schlagzeile](#) für Aufsehen, dass Deutschland Müll aus Tschechien zurückholen musste. Auf einem Privatgrundstück in einem Naturpark wurden neben herkömmlichen Abfällen auch Rotorblätter von Windrädern, Flugzeugteilen oder Batteriezellen entdeckt. Sie stammten von einem Entsorgungsunternehmen aus Bayern, das mittlerweile bankrott ist. Kein Einzelfall: Wie die Tagesschau berichtet, wurden unlängst weitere illegale Deponien in Tschechien entdeckt.

Dass vor allem Rotorblätter hier so im Fokus stehen, liegt daran, dass sie schwer zu recyceln sind.

## **Rotorblätter – Zwischen Aufwand und kreativen Ideen**

Das liegt nicht an fehlenden Techniken. Verwertungspfade für Rotorblätter gibt es durchaus. Sie kämpfen aber mit der Wirtschaftlichkeit. Als vielversprechend galt beziehungsweise gilt etwa die sogenannte **Zementroute** – eine Form der stofflich-energetischen Verwertung. Die heute anfallenden Rotoren bestehen in der Regel hauptsächlich aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) und Harzen (dazu Klebstoffe sowie Balsaholz als Kernmaterial). In der Zementroute nehmen die zerkleinerten GFK-Materialien zwei Wege: Die mineralischen Glasanteile, etwa in Form von Sand oder Kalkstein, dienen als Rohstoffe für die Zementherstellung. Der Harzanteil wiederum ersetzt etwa Kohle als Brennstoff. Damit haben die Rotorblätter einen doppelten Nutzen.

Dieser Prozess läuft allerdings alles andere als rund. Der wichtigste Aufbereiter Neocomp hat seine Schredderanlage für die Rotorblätter aus wirtschaftlichen Gründen unlängst stillgelegt – zu hohe Energiepreise und zu geringe Mengen an anfallenden Rotorblättern.



Für Rotorblätter gibt es etablierte Recycling-Pfade. Alle stehen allerdings vor wirtschaftlichen und auch

## Der Weg des kleinsten Geldes

"Abfall geht immer den Weg des kleinsten Geldes. Letztlich waren wir zu teuer. Bei uns kostet das 200 Euro je Tonne. Den Müll ins Ausland zu karren kostet nur 50 Euro", [sagt etwa Sven Rausch vom Entsorgungsunternehmen Nehlsen in Bremen, Mutterunternehmen von Neocomp, dem Tagesspiegel.](#)

Wirtschaftlichkeit ist auch der Knackpunkt beim Ansatz des rein stofflichen Recyclings. So können aus den GFK-Abfällen, etwa durch das Mahlen und Mischen mit anderen Kunststoffen, neue Produkte entstehen. Eine Firma, die das bereits praktiziert, ist Novo-Tech aus Aschersleben. Das Unternehmen stellt etwa Terrassendielen aus den alten Rotorblättern her.

Und das ist nicht gerade ein simpler Prozess, schon die Prüfung ist umfassend: [Gegenüber der Leipziger Volkszeitung sagte Firmenchef Holger Sasse,](#) dass sein Unternehmen nur etwa 50 Prozent des Flügels wiederverwerten könne. Nach der Demontage nimmt sein Unternehmen Materialproben und analysiert die Inhaltsstoffe. Das ist nötig, denn die alten Rotoren haben kein Produktdatenblatt. Woraus sie konkret bestehen, ist damit oft nicht klar.

Dieser Aufwand ist kein Schnäppchen, Betreiber müssen für die Abnahme etwa 1500 Euro pro Tonne zahlen. Dass Novo-Tech die Dielen selbst dann günstig anbieten kann, liege daran, dass man neben ausdienten Flügeln vor allem andere Altkunststoffe verwendet.

Die Alternative zu den aufgezeigten Wegen ist die Verbrennung im Müllheizkraftwerk. Abgesehen davon, dass es technisch ebenfalls problematisch ist, ist das das Gegenteil einer echten Kreislaufwirtschaft. Und für die Zukunft ohnehin nicht mehr bestreitbar.



Energieversorger wie Vattenfall bestreiten das Thema Windkraft-Recycling mit verspielten Ideen. Hier hat das Unternehmen etwa die ausgediente Gondel einer Windkraftanlage in ein 35 Quadratmeter großes, möbliertes Tiny House umgewandelt. Solche Projekte mögen öffentlichkeitswirksam sein, ob sie wirklich einen Beitrag zum Recycling leisten können, ist mindestens fragwürdig.

(Bild: Cleo Goossens/ Vattenfall - Ketelhuisplein)

## Herausforderung CFK

Moderne Rotorblätter enthalten carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK). Eine Verbrennung ist hier ausgeschlossen, denn die Carbonfasern verbrennen nicht und können durch ihre elektrische Leitfähigkeit die Filteranlagen von Müllheizkraftwerken lahmlegen, so Experten.

Als einzigen etablierten Weg bezeichnen sie die Pyrolyse. Dabei werden die CFK-Teile unter Hitze und ohne Sauerstoff zersetzt, wodurch die extrem wertvollen Carbonfasern zurückgewonnen werden können. Der Aufwand lohnt sich, denn die Herstellung neuer Carbonfasern ist extrem energieintensiv, stellt etwa der [Fachbeitrag von Spuziak-Salzenberg](#) fest.

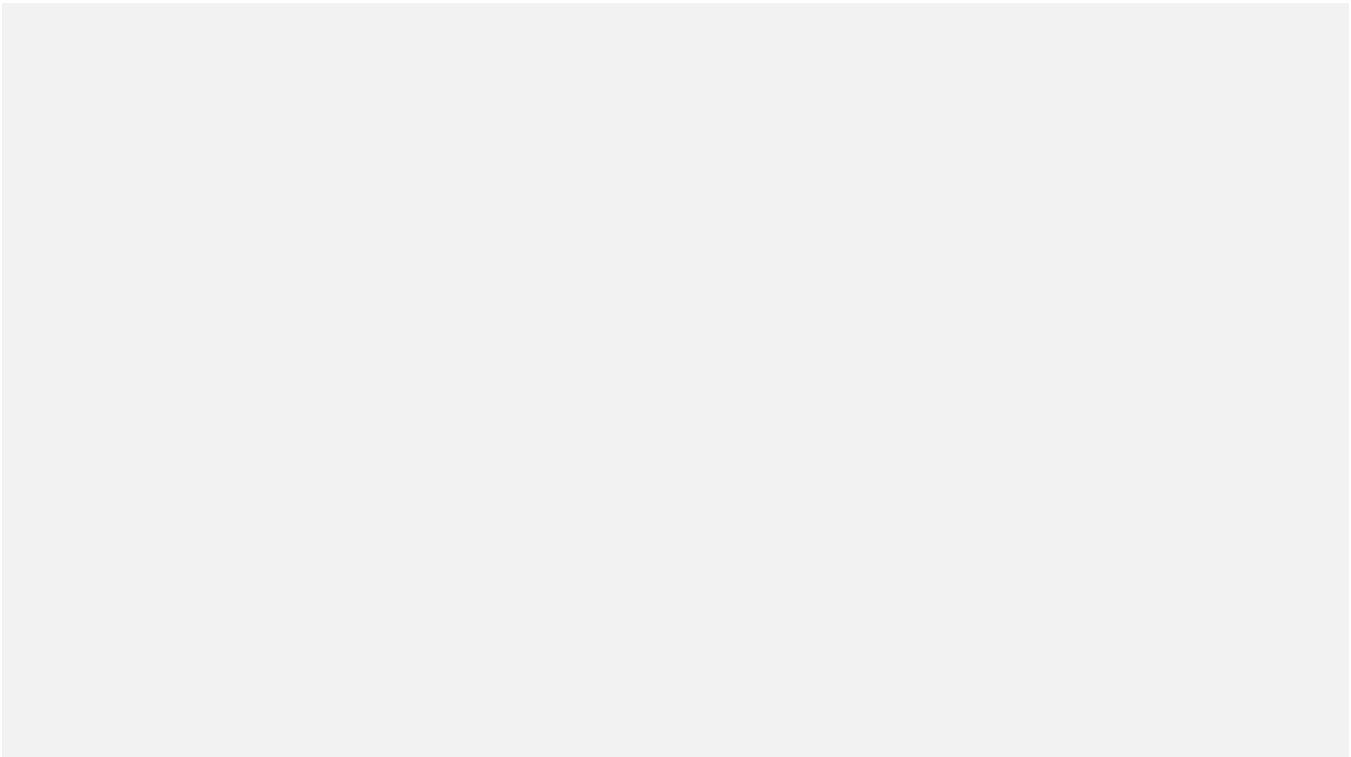
Ihr Recycling per Pyrolyse benötigt demnach nur einen Bruchteil dieser Energie und verbessere den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck massiv. Die Recycling-Kapazitäten in Europa sind jedoch noch gering, werden aber ausgebaut, etwa bei Mitsubishi in Stade.

## **Seltene Erden – der kritische Schatz**

In vielen modernen Windkraftanlagen steckt noch ein weiterer wertvoller Schatz: Permanentmagnete (PM), die kritische Rohstoffe enthalten. Konkret sind das Neodym, Dysprosium, Praseodym, Bor, Samarium, Nickel und Kobalt.

Je nach Antriebsart fallen die Magnetmassen größer oder kleiner aus – es können mehrere Tonnen sein. [Laut dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung \(ISI, PDF\)](#) kommen beispielsweise Windkraftanlagen mit Direktantrieb auf eine Magnetmasse von 650 Kilogramm pro Megawatt Leistung.

Aktuell geht dieser Schatz meist verloren, wie die Experten der Hochschule Bremen feststellen – wenn auch auf einem niedrigen Niveau, denn derzeit fallen die Magnete noch nicht in großem Maßstab an. Oft werden sie nicht separat demontiert, sondern häufig zusammen mit Stahl- und Gusseisenkomponenten zerkleinert und dem Metallrecycling zugeführt. Die Recyclingquote liegt laut dem [Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben WindLoop](#) bei unter einem Prozent. Das hat zwei Gründe. Zum einen gibt es ein erhebliches Informationsdefizit zur Altersstruktur, den Baugrößen und der stofflichen Zusammensetzung der Generatoren. Oft wissen die Demontageunternehmen nicht einmal, wo und wie die Magnete im Generator verbaut sind.



In Windrädern stecken wertvolle Permanentmagnete. Sie zu recyceln hilft Europa dabei, sich unabhängiger von China zu machen.

(Bild: Phawat / Shutterstock.com)

## Erste kommerzielle Ansätze

Zum anderen gibt es laut den Forschenden schlicht ein Prozessdefizit, denn es ist noch unklar, wie die komplexen Generatoren effizient zerlegt werden könnten, um überhaupt an die Magnete zu gelangen. Die Hauptherausforderung ist demnach die Entmagnetisierung. Ohne sie ist es kaum möglich, die stark magnetischen Teile vom Stahlschrott zu trennen.

Trotzdem gibt es bereits erste kommerzielle Ansätze, etwa vom Technologiekonzern Heraeus aus Hanau. Mitte 2024 [hat Heraeus Remloy die nach Angaben größte Recycling-Anlage](#) für Seltene Erden in Bitterfeld-Wolfen in Betrieb genommen. Das neue Werk hat eine Verarbeitungskapazität von 600 Tonnen pro Jahr. Die ausgebauten und entmagnetisierten Magnete werden mechanisch zu einem feinen Pulver zermahlen. Dieses Pulver, das die ursprüngliche Legierungszusammensetzung enthält, wird dann zur Herstellung neuer Magnete verwendet. Auch in Frankreich und Estland gibt es bereits existierende Anlagen.

Das Forschungsvorhaben Windloop schätzt, dass die Rückbauwelle dieser PM-getriebenen Anlagen ab 2031/2032 stark zunehmen und ein erhebliches Rohstoffpotenzial freisetzen könnte. Dass man sich das nicht entgehen lassen kann, ist auch Industrie und Politik bewusst. Gemeinsam haben sie einen sogenannten Resilienz-Fahrplan für Permanentmagnete verabschiedet.

Das Problem: Derzeit werden mehr als 90 Prozent der Permanentmagnete in China produziert – diese Abhängigkeit betrifft die gesamte Wertschöpfungskette, einschließlich der Gewinnung und Verarbeitung von Seltenen Erden, so die Bestandsaufnahme zum Fahrplan. [Das Land hat längst Exportkontrollen für Seltene Erden verhängt](#), was die Versorgung mit kritischen Rohstoffen gefährdet. Der Resilienz-Plan setzt analog zum EU-Rohstoffgesetz daher auf neue Bezugsquellen, Recycling und Kennzeichnungspflichten, um den Bedarf zu senken und die Versorgung zu sichern.

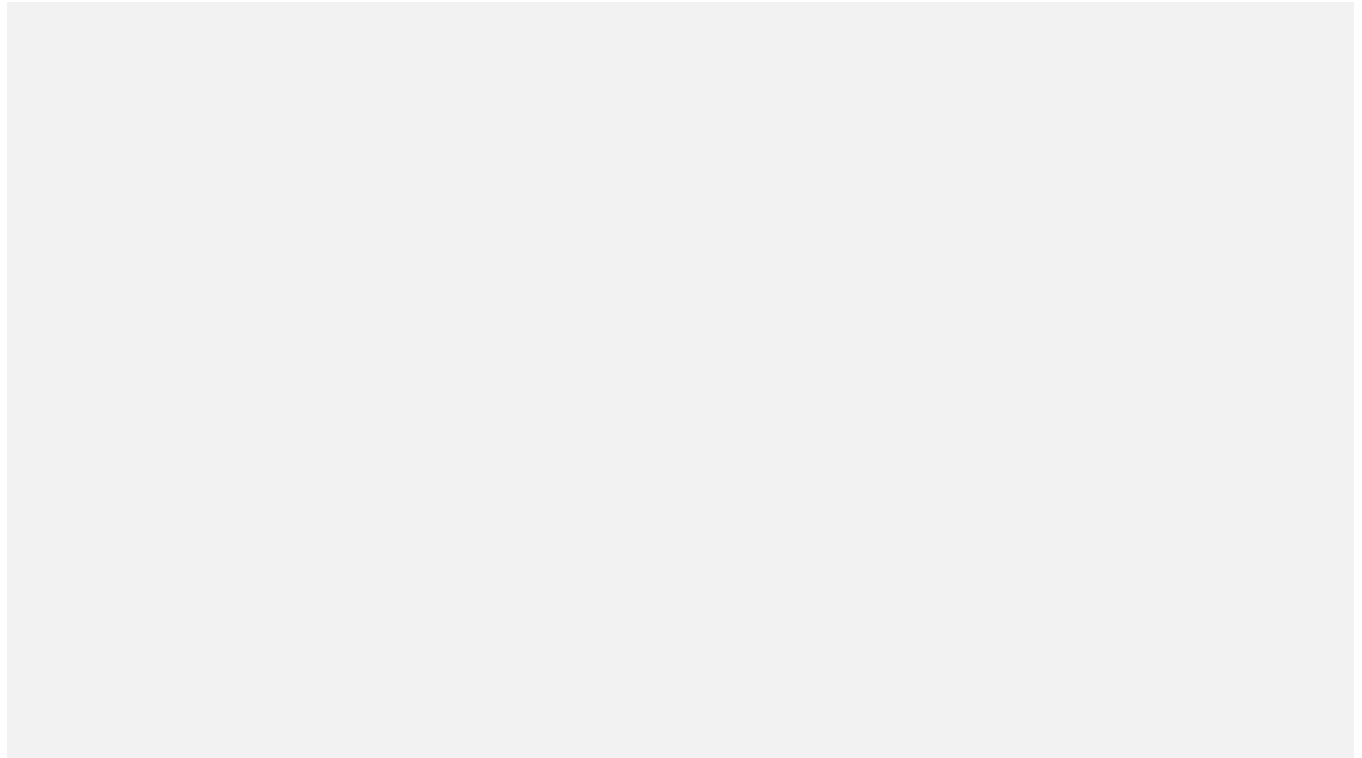
## **Ausblick – Lösung liegt im Design und in den Daten**

Das größte Hindernis für ein hochwertiges Recycling ist das Informationsdefizit. Rückbauunternehmen wissen oft nicht, welche Materialien wo und wie verbaut sind. Das gilt nicht nur für die Rotorblätter, sondern auch für die Generatoren mit den wertvollen Permanentmagneten. Die einstimmige Forderung aus Forschung, Industrie und sogar Behörden (Umweltbundesamt) lautet daher: Eine Art von digitalem Produktpass muss her.

Dieser Pass soll wie eine lückenlose Lebensakte für jede Anlage und jede Komponente fungieren. Er dokumentiert von der Herstellung bis zum Rückbau alle relevanten Informationen – von der genauen Zusammensetzung der Rotorblätter bis zur Art der verbauten Permanentmagnete.

Am nachhaltigsten ist natürlich der Abfall, der gar nicht erst entsteht – oder der sich zumindest leicht verwerten lässt. Und auch hier gibt es

bereits Entwicklungen. Erst im August 2025 [meldete etwa der Energiekonzern RWE](#), dass er den Offshore-Windpark Sofia vor der Küste Großbritanniens mit 150 recycelbaren Rotorblättern ausgestattet hat. "Dies entspricht 50 der 100 Windturbinen des Parks", so RWE. Die Rotorblätter stammen von Siemens Gamesa und nutzen ein neues Harz. Es kann am Ende des Lebenszyklus mit einer milden Säurelösung aufgespalten werden. So sollen sich die eingebetteten Materialien – also Kunststoff, Glasfaser und Holz – einfacher voneinander trennen lassen.



Längst gibt es Bestrebungen die Rotorblätter so zu gestalten, dass sie sich später einfacher wiederverwerten lassen. Kommerzielle Produkte kommen etwa von Siemens Gamesa. Hier werden die recycelbaren Rotorblätter in einem Windpark von RWE installiert.

(Bild: RWE)

Letztlich wird der Erfolg davon abhängen, ob es gelingt, solche Ansätze wirtschaftlich flächendeckend durchzusetzen. Das muss einfach gelingen, denn die Antwort auf die Frage nach der Nachhaltigkeit der Windkraft liegt nicht nur im emissionsfreien Betrieb. Sie entscheidet sich maßgeblich auf dem Recyclinghof. Nur wenn eine funktionierende Kreislaufwirtschaft für alle Komponenten gelingt, kann die Windenergie ihr Versprechen einer sauberen Zukunft einlösen. ([ssi](#))