

Rückbau ausgedienter Windkraftanlagen

Abfall oder Sekundärressource?

Florian Part, Anja Wilke
 Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft
 Universität für Bodenkultur Wien

Aus welchen Materialien besteht eine Windkraftanlage?

Glasfaser- oder carbonfaserverstärkte Kunststoffe (GFK bzw. CFK) können durch ihre hohe Zugfestigkeit und ihre geringe Dichte hohen mechanischen Belastungen standhalten und größtmögliche aerodynamische Leistung erbringen. Deshalb eignet sich dieses Material ideal für Rotorblätter von Windenergieanlagen, stellt allerdings eine Herausforderung beim Recycling dar¹. Dies ist auf die eingesetzten Harze, welche sich nach Aushärtung weder lösen noch umschmelzen lassen, zurückzuführen².

Für die Rotorblätter werden zumeist GFK eingesetzt, da Carbonfasern in etwa das Zehnfache von Glasfasern kosten³. Der GFK-Massenanteil in einem Rotorblatt beträgt ca. 70%, während CFK nur zur Verstärkung verbaut wird. Weiters bestehen auch Gondel und Nabe aus Verbundmaterialien, welche zwei bis drei Prozent der Gesamtmasse einnehmen⁴.

In Abbildung 1 ist die materielle Zusammensetzung einer für Österreich typischen Land-Windkraftanlage („onshore“) ersichtlich. Eine detailliertere Darstellung der materiellen und stofflichen Zusammensetzung sowie eine Abschätzung des Sekundärressourcenpotenzials aus Windkraftanlagen (WKA) kann in Scherhauser et al. (2021) nachgelesen werden.

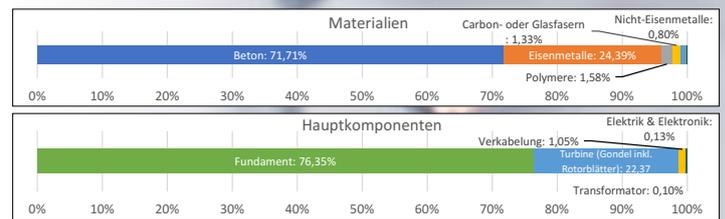


Abb. 1: Die durchschnittlichen Gewichtsanteile der jeweiligen Komponenten und Materialien wurden in Relation zum Gesamtgewicht einer WKA pro Megawatt (folgend MW) Leistung gesetzt. Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis: Hischer, Classen, Lehmann und Schramhorst (2007); Razdan und Garrett (2017).

Geordneter Rückbau zur Entsorgung

WKA haben eine Lebensdauer zwischen 20 und 30 Jahren, bis sie sachgerecht rückgebaut werden müssen⁵. Beschädigte oder ermüdete Anlagenteile, wie Getriebe oder Rotorblätter, müssen im Schadensfall frühzeitig durch neue ersetzt werden. 2022 wurden in Österreich 12 WKA rückgebaut, die nach Überprüfung der Funktionstauglichkeit am Ende der wirtschaftlichen Lebensdauer weiterverkauft wurden⁶. Der Turm wird nicht weiterverkauft, da dessen Rückbau (sowohl Betonturm als auch Hybridturm) irreversibel ist⁷.

Können rückgebaute WKA-Komponenten nicht weiterverwendet werden, ist die direkte Deponierung weltweit die übliche Praxis, da sie zumeist die kostengünstigste Methode zur WKA-Entsorgung darstellt⁸. Innerhalb der EU ist jedoch aufgrund der Abfallrahmenrichtlinie (EU-Richtlinie 2008/98/EG) und relevanter nationaler Verordnungen (z.B. Elektroaltgeräteverordnung) eine Deponierung rückgebaute WKA-Komponenten ohne Abfallvorbehandlung nicht zulässig. Aus diesem Grund werden die Anlagenteile stufenweise rückgebaut und soweit wie möglich weiterverwendet oder recycelt. Zuerst werden Rotorblätter, Gondel und Turm mithilfe von Kränen abgebaut. Das Fundament verbleibt entweder im Boden oder es wird, wenn möglich, zu Recyclingbaustoffen weiterverarbeitet. In Abbildung 2 werden mögliche Recyclingwege für einzelne WKA-Komponenten zusammenfassend dargestellt.

80 bis 90% einer WKA können recycelt werden mit Ausnahme von faserverstärkten Kunststoffen, für welche kaum wirtschaftliche Recyclingmethoden bestehen⁹. Der aus dem Rückbau anfallende Beton aus Fundament und Turm kann als Recyclingbaustoff mechanisch aufbereitet werden. Der Betonabbruch wird mittels Brecher zerkleinert, von Metallen und Störstoffen befreit und für Recyclingbetone aufbereitet. Mittels Magnetabscheider werden Eisenmetalle abgetrennt. Für die Sortierung von Nichteisenmetallen, wie Aluminium, Kupfer und legiertem Stahl, werden Wirbelstromabscheider verwendet. Die so abgetrennten metallischen Bestandteile werden anschließend mittels pyro- und/oder hydrometallurgischer Verfahren rückgewonnen. Nach demselben Prinzip werden Altmetalle aus Getriebe, Generator, Transformator, Schaltanlage oder aus den Kabeln im Zuge metallurgischer Verfahren für Elektroaltgeräte und Metallschrotte recycelt.

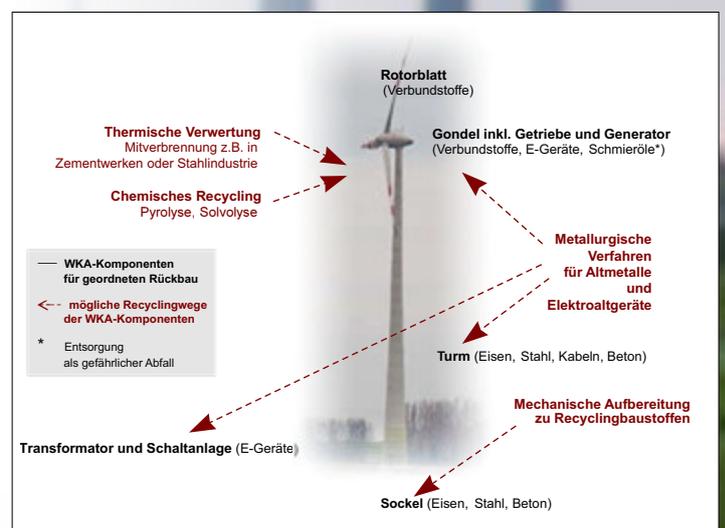


Abb. 2: Mögliche Recyclingwege für rückgebaute WKA-Komponenten (Quelle: eigene Darstellung)

Kunststoffbasierte Verbundmaterialien werden zumeist zur Wärmegewinnung thermisch verwertet. Ausgediente Rotorblätter werden zuerst mechanisch aufbereitet und anschließend als sogenannte Ersatzbrennstoffe in z. B. den Drehrohröfen von Zementwerken eingesetzt. Die zerkleinerten Verbundstoffe können alternativ auch als sekundäre Energie- und Kohlenstoffquelle in der Stahlerzeugung im Lichtbogenofen eingesetzt werden. Die hitzebeständigen Glasfasern der Rotorblätter bleiben in den festen Verbrennungsrückständen (Aschen und Stäube) zurück und werden daher nicht recycelt. Carbonfasern zersetzen sich bei Temperaturen über 600°C, insofern die vorherrschenden Verbrennungsbedingungen eine vollständige Oxidation zulassen¹⁰. Bei unvollständiger Oxidation können die Carbonfasern als Stäube in den Abgasstrom einer Verbrennungsanlage ausgetragen werden. Die Verwertung der Rotorblätter in klassischen Müllverbrennungsanlagen ist daher nicht zu empfehlen, da die (elektrisch leitfähigen) Fasern die Elektrofilter zur Rauchgasreinigung „verstopfen“ bzw. beschädigen¹¹.

Wie kann die Kreislaufwirtschaft funktionieren?

Der Großteil einer rückgebauten WKA kann bereits jetzt im Sinne der Kreislaufwirtschaft recycelt werden. Sowohl der Beton aus dem Fundament als auch Metalle, wie Stahl und Aluminium, können bis zu 92% recycelt werden, Kupfer zu 95%. In Zukunft sollen neben Aluminium, Kupfer und Eisen auch Gold, Silber und Selen aus dem Generator wiedergewonnen werden. Hingegen werden faserverstärkte Kunststoffabfälle aus Rotorblättern heutzutage noch nicht recycelt, es könnte jedoch in Zukunft eine Recyclingrate von bis zu 50% erreicht werden⁹. Hierfür könnte die Solvolyse eingesetzt werden, jedoch besteht für eine großindustrielle Anwendung noch Forschungsbedarf. Zusätzlich müssten Sekundärmärkte für die rückgewonnenen Recyclingprodukte zuerst etabliert werden, um Recyclingverfahren zukünftig wirtschaftlich betreiben zu können. Weitere Recyclingwege zum „Downcycling“ sollten ebenso in Betracht gezogen werden. So können beispielsweise faserverstärkte Kunststoffabfälle zu Pellets aufbereitet und für die Herstellung von Baustoffen herangezogen werden, während Carbonfasern auch als Reduktionsmittel in der Pyrometallurgie (thermochemisches Recycling) eingesetzt werden können.

Bei der Entwicklung neuer Windkraftanlagen und zur Auswahl umweltverträglicher und recyclingfähiger Materialien sollte in Zukunft das sogenannte Design for Recycling Konzept angewandt werden. Weiters könnten innovative Reuse- und Redesign-Konzepte gezielt gefördert werden. Unternehmen wie Wings for living verwerten beispielsweise ausrangierte Rotorblätter und gestalten daraus Outdoor-Möbel in neuem Design (Abb. 3). Im Zuge des Repowerings großer Windparks werden bereits jetzt schon rückgebaute, aber weiterhin funktionstüchtige Anlagen an Drittstaaten verkauft und somit ihre Lebensdauer verlängert. In den Niederlanden wurden zum Beispiel bereits innovative Redesign-Konzepte umgesetzt, wobei alte Rotorblätter für Spielplätze oder Sitzgelegenheiten umfunktioniert worden sind. So spielen in einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft Design for Recycling-Prinzipien im Neudesign, Kreativität im Redesign und innovative Recyclingverfahren eine immer größer werdende Rolle.



Abb. 3: Outdoor-Möbel unter Verwendung ausrangierter Rotorblätter
(Quelle: <https://wings-for-living.de/>)

Referenzliste:

- 1 Jensen & Skelton, 2018
- 2 Martens & Goldmann, 2016
- 3 Henningsen & Ruckdäschel, 2021
- 4 Bundesverband WindEnergie, 2019
- 5 Otto et al., 2023
- 6 IG Windkraft, 2023
- 7 Zotz et al., 2019
- 8 Martin, 2020; Oliveux, Dandy & Leeke, 2015
- 9 Scherhauser, Part & Beigl, 2021
- 10 Quicker & Stockschröder, 2021
- 11 LAGA 2019; Bundesverband WindEnergie 2019

Referenzen:



Impressum:

BOKU-Energiecluster, Universität für Bodenkultur Wien

Koordination:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Stöglehner
Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien

energiecluster@boku.ac.at

<https://boku.ac.at/boku-energiecluster>

Stand: April 2024

ISSN 2791-4143 (Online)

DOI 10.5281/zenodo.11183999