

Ökobilanz der Windenergie

Definition | Grundlagen | Ergebnisse

Bei der Herstellung und dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen und insbesondere von Windenergieanlagen steht das Thema Nachhaltigkeit zunehmend im Fokus. In diesem Zusammenhang wird auch von der „Ökobilanz“ gesprochen. Was versteht man darunter? Und wie sieht die Ökobilanz der Windenergienutzung im Vergleich zu anderen Energieerzeugungsarten aus? Dazu gibt das Kompaktwissen Auskunft.

Was bedeutet Ökobilanz und wie wird sie ermittelt?

Die Ökobilanz, englisch „Life Cycle Assessment“ (LCA), ist eine Methode zur ganzheitlichen ökologischen Bewertung von Produkten. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus des Erzeugnisses von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung betrachtet.

Unter Berücksichtigung der Input- und Output-Ströme eines Lebenszyklus wie Material- und Energieeinsatz werden die potenziellen Umweltwirkungen ermittelt.

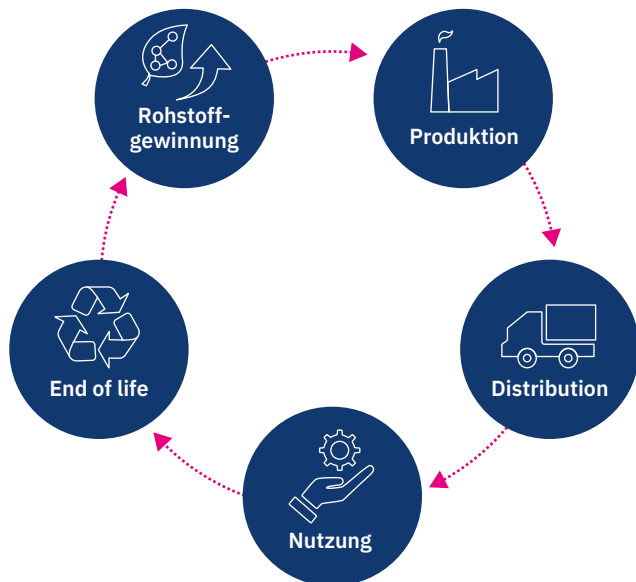


Abbildung 1: Überblick zum Produktlebenszyklus nach ISO 14040¹

Die DIN-Norm EN ISO 14044² legt die Vorgehensweise fest, um eine Ökobilanz zu erstellen. Die Bilanzierung der Umwelteinwirkung erfolgt dabei auf Basis von Input- und Output-Strömen. Unter Input-Strömen werden stoffliche und energetische Ressourcen verstanden. Output-Ströme hingegen bezeichnen Produkte, Emissionen (in Luft, Wasser und Boden) und Ablagerungsgüter, die bei der Herstellung, dem Betrieb und der Verwertung bzw. Entsorgung anfallen.

Potenzielle Wirkungen des Produktsystems auf die Umwelt umfassen verschiedene Kategorien wie z. B. den Beitrag zum Treibhauseffekt oder „Global Warming Potential“ (GWP), das Versauerungspotenzial (AP) sowie das Eutrophierungspotenzial (EP).

Die Grundsätze und Regeln für eine Ökobilanz sind durch internationale Standards festgelegt und wurden in das deutsche DIN-System übertragen. Demnach besteht eine Ökobilanz aus vier Elementen: Zunächst werden das Ziel und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Anschließend werden Daten der relevanten Input- und Output-Ströme ermittelt, quantifiziert und in der sogenannten Sachbilanz zusammengefasst. In einem dritten Schritt werden die Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen prognostiziert und dargestellt, bevor schließlich die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung zusammengeführt werden, um daraus Schlussfolgerungen oder Empfehlungen abzuleiten. Dies alles wird in der Ökobilanz zusammengefasst, die transparent, nachvollziehbar und umfassend sein soll.³

Der CO₂-Fußabdruck unterscheidet sich von der Ökobilanz dadurch, dass nur Aussagen zu einer Umweltwirkung, in diesem Fall dem Beitrag zum Treibhauseffekt, getroffen werden.

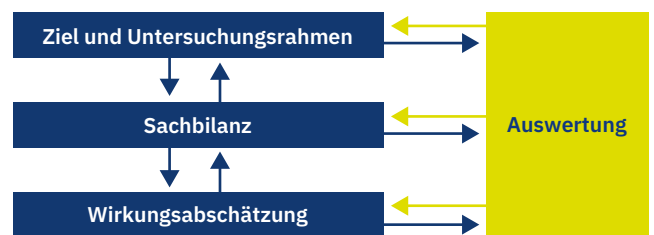


Abbildung 2: Arbeitsschritte einer Ökobilanz⁴

Welche Faktoren sind bei der Ökobilanz einer Windenergieanlage zu berücksichtigen?

Ökobilanzen für Windenergieanlagen werden in der Regel von den Herstellern mit Hilfe von Software-Tools ermittelt. Dabei kann die Ökobilanz gleicher Anlagentypen an unterschiedlichen Standorten durchaus variieren. Grund dafür sind Unterschiede im Transportaufwand für die Errichtung sowie im Aufwand für Rückbau und Recycling, die je nach Produktions- bzw. Verwertungsort erheblich sein können. Auch die standortabhängig erzeugte Strommenge sowie die Lebensdauer der Anlage beeinflussen das Bilanzergebnis.⁵

Das Umweltbundesamt hat im Jahr 2021 im Rahmen eines Forschungsauftrags Ökobilanzen sowohl für Windenergie- als auch für Solaranlagen umfassend erfasst und bewertet.⁶ Dabei wurden die drei Phasen Herstellung, Nutzung sowie Rückbau und Verwertung am Ende der Lebensdauer intensiv betrachtet.

Der Lebenszyklus einer Windenergieanlage beginnt mit ihrer Herstellung. Mit berücksichtigt werden die Transporte der Materialien und Komponenten zu den Produktionsstätten sowie die Herstellung und der Transport des Umspannwerks, der Kabel und deren Trassenverlegung. Die Nutzung umfasst die Logistik, den Aufbau und die Installation der Anlage, den Stromertrag sowie die Wartung über die gesamte Betriebszeit. Die dritte Phase umfasst den Rückbau der Windenergieanlage und deren Materialverwertung.

Wie sieht die Ökobilanz einer Windenergieanlage aus?

Die LCA für Onshore-Windenergieanlagen wurde im Rahmen des o. g. Forschungsauftrags sowohl für einen Starkwind- als auch einen Schwachwindstandort ermittelt. Das GWP eines durchschnittlichen Onshore-Windparks an einem Starkwindstandort beträgt danach durchschnittlich 7,9 Gramm CO₂-Äq./kWh Strom, an einem Schwachwindstandort 10,6 g CO₂-Äq./kWh Strom.

Der weitaus größte Anteil an Umweltauswirkungen entfällt auf die Herstellung der Anlage. Dies gilt nicht nur für das GWP, sondern auch für die o. g. weiteren Wirkungskategorien. Der hohe Anteil an den Gesamtwirkungen ist vor allem auf die Menge und die Herstellung der eingesetzten Materialien wie Beton und Metalle zurückzuführen. Die geringsten Anteile entfallen bei allen Faktoren auf die Nutzung und Wartung.

Für die Verwertung der Rückbaukomponenten werden im Szenario Gutschriften für das Materialrecycling, insbesondere der Metalle, vergeben.

Anzumerken ist, dass moderne Windenergieanlagen im Vergleich zu den in früheren Studien untersuchten Anlagen wesentlich größere Dimensionen ihrer Komponenten – und damit mehr Materialeinsatz – aufweisen. Dies führt zu einem höheren Energieaufwand pro Anlage für Herstellung, Installation, Rückbau und Recycling. Dem stehen jedoch deutlich höhere Energieerträge gegenüber, die den Mehraufwand überkompensieren. Dadurch reduzieren sich die Umweltwirkungen pro erzeugter Kilowattstunde erheblich.⁸

Eine weitere Berechnung in der Studie widmete sich der sogenannten Energy Payback Time (EPBT), also der energetischen Amortisationszeit. Diese beträgt für Starkwindanlagen 2,5 Monate, für Schwachwindanlagen 3,2 Monate.

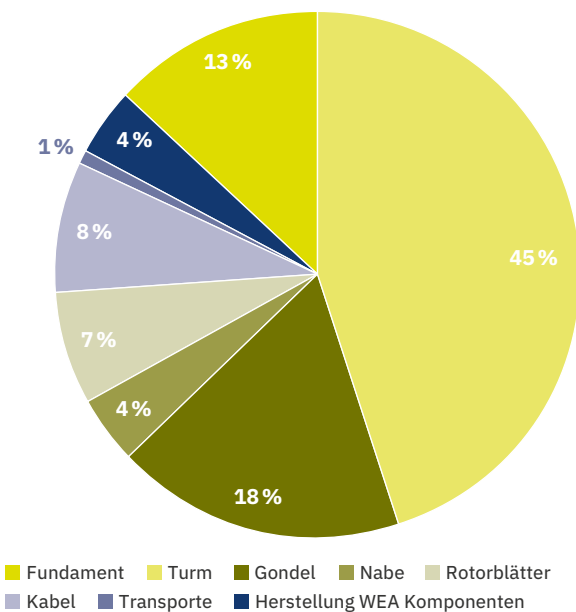


Abbildung 3: Relative Zusammensetzung des GWP-Ergebnisses des Basisszenarios für die Herstellung der durchschnittlichen Onshore-Windenergieanlage (Schwachwind) und Kabel pro kWh Strom⁷



Wie steht die Windenergie im Vergleich zu anderen Energiequellen da?

Eine vergleichende Ökobilanz verschiedener Stromerzeugungstechnologien liegt uns bislang nicht vor. Anhand einer Datenauswertung des Umweltbundesamtes zur Emissionsbilanzierung lassen sich jedoch bei den CO₂-Emissionen deutliche Tendenzen erkennen.⁹ So liegt die Windenergienutzung an Land mit knapp 18 g CO₂-Äq./kWh nach der Windenergienutzung auf See und der Wasserkraft an dritter Stelle, während die Braunkohle mit 1.038 g CO₂-Äq./kWh etwa den 58-fachen Wert erreicht.

Die Werte für die Kernenergie gehen in der Literatur weit auseinander – je nachdem, ob nur der Energieerzeugungsprozess im engeren Sinne oder der gesamte Lebenszyklus eines Kernkraftwerks betrachtet wird. Allein der IPCC-Report 2014¹⁰ geht von einer Spanne von 3,7 bis 110 Gramm CO₂-Äquivalent pro Kilowattstunde aus, andere Studien weisen noch größere Bandbreiten auf.¹¹

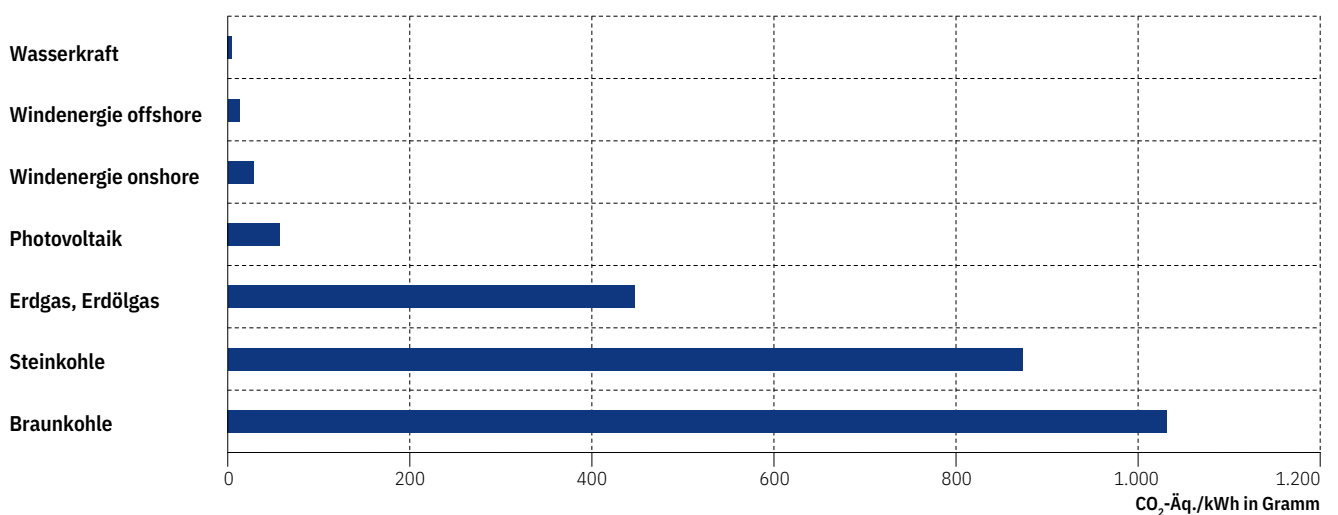


Abbildung 4: Vergleich der verschiedenen Energieträger bzgl. ihrer CO₂-Emissionen in Gramm pro kWh¹²

Weiterführende Informationen

- Deutsche Welle (DW), Im Fokus (2021), Natur und Umwelt, Wie nachhaltig ist Windkraft?
- Ecochain (2024), Ökobilanz (LCA) – Vollständiger Leitfaden für Einsteiger.
- Umweltbundesamt (UBA) (2021), Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Abschlussbericht.
- Umweltbundesamt (UBA) (2018), Themenseite Ökobilanz.



- 1 Eigene Darstellung nach EY denkstatt.
- 2 Siehe auch VDI Zentrum Ressourceneffizienz, DIN EN ISO 14040/44 „Ökobilanz“
- 3 Umweltbundesamt, Themenseite „Ökobilanz“.
- 4 Eigene Darstellung.
- 5 Bundesverband Windenergie (2017), Ökobilanzen von Onshore-Windenergieanlagen. Hintergrundpapier.
- 6 Umweltbundesamt (2021), Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Abschlussbericht.
- 7 Umweltbundesamt (2021), Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Abschlussbericht, Abb. 87 auf Seite 302.
- 8 Deutscher Bundestag, Wissenschaftliche Dienste, Dokumentation (2020), Windenergieanlagen – Rückbau, Recycling und Ökobilanzierung.
- 9 Umweltbundesamt (2022), Hintergrunddaten, Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger im Vergleich, unter Verwendung von Daten der AGEE-Stat.
- 10 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014), Climate Change 2014.
- 11 Siehe auch DW Faktencheck: Ist Atomenergie klimafreundlich?
- 12 Eigene Darstellung nach UBA (2022), Hintergrunddaten, Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger im Vergleich.

Impressum © FA Wind und Solar, Dezember 2024 | V.i.S.d.P.: Dr. Antje Wagenknecht

Autorin: Claudia Bredemann

Zitiervorschlag: FA Wind und Solar, Kompaktwissen Ökobilanz der Windenergie, Berlin 2024

Bildnachweis: S. 3, 4 © Josef Kleimann, Bürgerwind Hagenkamp

Haftungsausschluss: Die in dieser Broschüre enthaltenen Angaben und Informationen sind nach bestem Wissen erhoben, geprüft und zusammengestellt. Eine Haftung für unvollständige oder unrichtige Angaben, Informationen und Empfehlungen ist ausgeschlossen, sofern diese nicht grob fahrlässig oder vorsätzlich verbreitet wurden.

Fachagentur Wind und Solar e. V.

Fanny-Zobel-Straße 11 | 12435 Berlin
T +49 30 64 494 60-60
post@fa-wind-solar.de | www.fachagentur-wind-solar.de



FACHAGENTUR
WIND UND SOLAR